

# KONSTRUKCIJA PORTALA BAZILIKE U SOLINU

---

**VETMA, VLADIMIR**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Split / Sveučilište u Splitu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:530932>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE  
ODSJEK ZA STROJARSTVO**

**MARIO SUBAŠIĆ**

**ZAVRŠNI RAD**

**KONSTRUKCIJA PORTALA BAZILIKE  
U SOLINU**

**Split, rujan 2019.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE  
ODSJEK ZA STROJARSTVO**

**PREDMET: Metalne konstrukcije**

**ZAVRŠNI RAD**

**KANDIDAT: Mario Subašić**

**TEMA ZAVRŠNOG RADA: Konstrukcija portala bazilike u Solinu**

**MENTOR: Vladimir Vetma, predavač**

**Split, rujan 2019.**

## Sažetak

### **Konstrukcija portala bazilike u Solinu**

U ovom radu prikazana je metodika konstruiranja konstrukcije portala bazilike. U uvodnom dijelu su prikazani nacrti samog objekta koji su dobiveni iz glavne projektne dokumentacije, a potrebni su kako bi se spoznale glavne dimenzije objekta potrebne za izradu konstrukcije, orijentacija objekta, te zahtjevi investitora.

Izvršen je izbor materijala, usvojene su preliminarne vrijednosti profila nosive konstrukcije, te je odabrana varijanta rješenja konstrukcije. Za odabrano rješenje konstrukcije proračunata su opterećenja, te je izvršen izbor geometrije s kojim se dokazuje da je zadovoljena nosivost i stabilnost konstrukcije.

U završnom dijelu je prikazana tehnologija oblikovanja i izvedbe svih važnijih dijelova konstrukcije. Sve je popraćeno projektom dokumentacijom, slikama s terena i atestima materijala kako bi se dobio bolji osjećaj realnosti projekta.

Ključne riječi: konstrukcija, nosač, opterećenje, profili, metodičko konstruiranje.

## Summary

### **The construction of the Solin basilica portal**

This work presents a methodology for construction of the construction of a basilica portal. The introductory part shows the blueprints of the building itself, which are obtained from the main project documentation, and are needed to understand the main dimensions of the building needed for the construction, the orientation of the building and the requirements of the investor.

The selection of materials was made, the preliminary values of the profile of the load-bearing structure were adopted, and the variant of the structure was selected. For the chosen solution of the structure, loads were calculated and a geometry was chosen to prove that the load-bearing capacity and stability of the structure were satisfied.

The final part shows the technology of design and construction of all important parts of the structure. Everything is accompanied by project documentation, field pictures, and material approvals to give better sense of the reality of the project.

Key words: construction, grider, load, profiles, methodical construction.

**SADRŽAJ**

Sažetak.....	3
1. Uvod.....	10
2. Metodičko konstruiranje konstrukcije portala bazilike.....	16
3. Odabrana varijanta konstrukcije portala bazilike .....	18
4. Izbor materijala portala bazilike .....	21
5. Proračun opterećenja portala bazilike.....	22
5.1. Proračun stalnog opterećenja .....	22
5.1.1. Stalno opterećenje horizontalnih glavnih nosača .....	28
5.2. Proračun promjenljivog opterećenja .....	30
5.2.1. Promjenljivo opterećenje horizontalnih glavnih nosača .....	36
6. Izbor geometrije nosača konstrukcije portala bazilike .....	37
6.1. Izbor geometrije horizontalnog glavnog nosača pozicije 2 .....	38
6.2. Izbor geometrije horizontalnog glavnog nosača pozicije 5 .....	42
6.2.1. Provjera progiba horizontalnog glavnog nosača pozicije 5 uslijed stalnog opterećenja.....	45
6.3. Provjera čvrstoće vertikalnog veznog nosača .....	48
6.4. Provjera izbora geometrije horizontalnog glavnog nosača pozicije1.....	51
6.5. Provjera progiba horizontalnih glavnih nosača.....	57
6.5.1. Provjera progiba zbog stalnog opterećenja .....	57
6.5.2. Provjera progiba zbog promjenljivog opterećenja.....	58
7. Tehnologija oblikovanja i izvedbe konstrukcije portala bazilike.....	61
7.1. Oslonci nosive metalne konstrukcije.....	65
7.2. Izvođenje nosive metalne konstrukcije.....	70
7.3. Obloge konstrukcije portala.....	75
7.3.1. Središnja termo izolacijska obloga .....	75
7.3.2. Unutrašnja dekorativna obloga iz hrasta.....	77

---

7.3.3. Vanjska dekorativna obloga iz legure mesinga .....	78
7.3.3.1 Tehnološki postupak obrade i ugradnje obloga konstrukcije portala.....	85
8. Zaključak.....	93
Literatura.....	94

## Popis slika

Slika 1.1 - Bazilika u Solinu (model preuzet iz glavnog projekta) [1].....	10
Slika 1.2 - Tlocrt bazilike u Solinu (tlocrt preuzet iz glavnog projekta) [1].....	11
Slika 1.3 - Presjek bazilike u Solinu (presjek preuzet iz glavnog projekta) [1].....	12
Slika 1.4 - Sustav ciljeva za tehničko vrednovanje varijanti konstrukcija .....	12
Slika 1.5 - 3D model odabrane varijante rješenja portala bazilike u Solinu [1] .....	13
Slika 1.6 - Presjek kroz portal bazilike u Solinu (presjek preuzet iz glavnog projekta) [1].....	14
Slika 1.7 - Dimenzije portala bazilike .....	15
Slika 2.1 - Plan provedbe proračuna metalne konstrukcije bazilike .....	16
Slika 3.1 - Shematski prikaz nosive konstrukcije portala bazilike.....	18
Slika 3.2 - Izvedbeni model nosive konstrukcije portala bazilike [2] .....	19
Slika 3.3 - Izvedbeni model nosive konstrukcije portala bazilike [2] .....	20
Slika 3.4 - Izvedbeni model nosive konstrukcije portala bazilike [2] .....	20
Slika 5.1 - Termo izolacijski panel oslonjen na 2 nosača.....	23
Slika 5.2 - Dimenzije oslonca glavnog nosača [2] .....	27
Slika 5.3 - Zemljovid područja opterećenja vjetrom za Republiku Hrvatsku [11] .....	31
Slika 5.4 - Dijagram koeficijenta izloženosti vjetra za kategoriju III i visinu 15m [11].....	32
Slika 5.5 - Koeficijent vanjskog tlaka $c_{pe}$ za vertikalne površine konstrukcija pravokutnog tlocrta [11].....	34
Slika 5.6 - Konstrukcija opterećena vjetrom.....	35
Slika 6.1 - Nosač opterećen težinom i vjetrom .....	37
Slika 6.2 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 2 opterećenog težinom .....	38
Slika 6.3 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 2 opterećenog vjetrom.....	39
Slika 6.4 - Glavni nosač opterećen težinom i vjetrom.....	39
Slika 6.5 - Presjek profila glavnog nosača.....	40
Slika 6.6 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 5 opterećenog težinom .....	42
Slika 6.7 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 5 opterećenog vjetrom.....	43
Slika 6.8 - Presjek glavnog nosača .....	43
Slika 6.9 - Progib glavnog nosača 5 .....	45
Slika 6.10 - Dimenzije presjeka profila glavnog nosača .....	45
Slika 6.11 - Unutrašnje sile presjeka na udaljenosti $x$ .....	46
Slika 6.12 - Vertikalni vezni nosač opterećen vjetrom.....	49
Slika 6.13 - Dijagrami sila i momenata vertikalnog nosača opterećenog vjetrom.....	50

Slika 6.14 - Glavni nosač 1 opterećen težinom.....	51
Slika 6.15 - Presjek profila glavnog nosača 1 sa L ukrutom .....	52
Slika 6.16 - Dijagrami sila i momenata nosača 1 opterećenog težinom.....	54
Slika 6.17 - Glavni nosač 1 opterećen vjetrom .....	55
Slika 6.18 - Dijagrami sila i momenata nosača 1 opterećenog vjetrom.....	56
Slika 6.19 - Podjela konstrukcije na referentne površine opterećene vjetrom.....	58
Slika 6.20 - Pomoćna konstrukcija glavnog nosača 1 [2].....	60
Slika 7.1 - Radni nalog za montažu konstrukcije portala bazilike [2].....	62
Slika 7.2 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 2 [2] .....	63
Slika 7.3 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 5 [2] .....	63
Slika 7.4 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 1 [2] .....	63
Slika 7.5 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 0 [2] .....	64
Slika 7.6 - Jednostavno oslonjen nosač .....	65
Slika 7.7 - Oslonci glavnog nosača 1 [2].....	66
Slika 7.8 - Oslonci glavnih nosača 2,3,4 [2].....	67
Slika 7.9 - Oslonci glavnog nosača 5 [2].....	68
Slika 7.10 - Oslonci nosive konstrukcije u izradi.....	69
Slika 7.11 - Fiksni oslonac glavnog nosača pričvršćen za AB plohu.....	69
Slika 7.12 - Pokretni oslonac glavnog nosača pričvršćen za AB plohu .....	70
Slika 7.13 - Spoj vertikalnog i horizontalnog nosača.....	71
Slika 7.14- Montaža glavnih horizontalnih nosača .....	72
Slika 7.15 - Montaža vertikalnih veznih nosača .....	73
Slika 7.16 - Spoj glavnih horizontalnih nosača 1 i 0 u horizontalnoj ravnini.....	73
Slika 7.17 - Završena nosiva konstrukcija portala bazilike .....	74
Slika 7.18 - Presjek i debljina obloge .....	75
Slika 7.19 - Termo izolacijski panel izozid izoforma [5].....	76
Slika 7.20 - Vizualizacija unutrašnje dekorativne obloge iz hrasta [2].....	77
Slika 7.21 - Panel ploča od hrasta [7].....	78
Slika 7.22 -Mesing [8] .....	79
Slika 7.23 - Mehanička svojstva mesinga oznake CuZn37 [9].....	80
Slika 7.24 - Mehanička svojstva mesinga oznake CuZn37[9].....	81
Slika 7.25 - Potvrda narudžbe limova od mesinga za vanjsku dekorativnu oblogu.....	82
Slika 7.26 - Vizualizacija obložene konstrukcije ukrašene sa sakralnim motivom [2].....	83
Slika 7.27 - Uvećani prikaz motiva urezanog u oblogu .....	84



Slika 7.28 - Uvećani prikaz motiva urezanog u oblogu .....	84
Slika 7.29 - Vizualizacija obložene konstrukcije sa izrezanim motivom [2] .....	85
Slika 7.30 - Izgled vanjske dekorativne obloge podijeljene po segmentima [2] .....	86
Slika 7.31 - Pozicije segmenata vanjske dekorativne obloge [2].....	87
Slika 7.32 - Dimenzije i upute za savijanje i rezanje za poziciju 17 vanjske dekorativne obloge [2] .....	88
Slika 7.33 - Obrada segmenta vanjske dekorativne obloge sa izrezanim motivom maslinovog lista .....	88
Slika 7.34 - Detalj presjeka tlocrta tehnologije montaže vanjske dekorativne obloge od mesinga [2].....	89
Slika 7.35 - Detalj presjeka bočnog pogleda tehnologije montaže vanjske dekorativne obloge od mesinga [2].....	89
Slika 7.36 - Montaža vanjske dekorativne obloge iz mesinga .....	90
Slika 7.37 - Gotova konstrukcija obložena dekorativnom oblogom .....	91
Slika 7.38 - Gotova konstrukcija obložena dekorativnom oblogom .....	92

**Popis tablica**

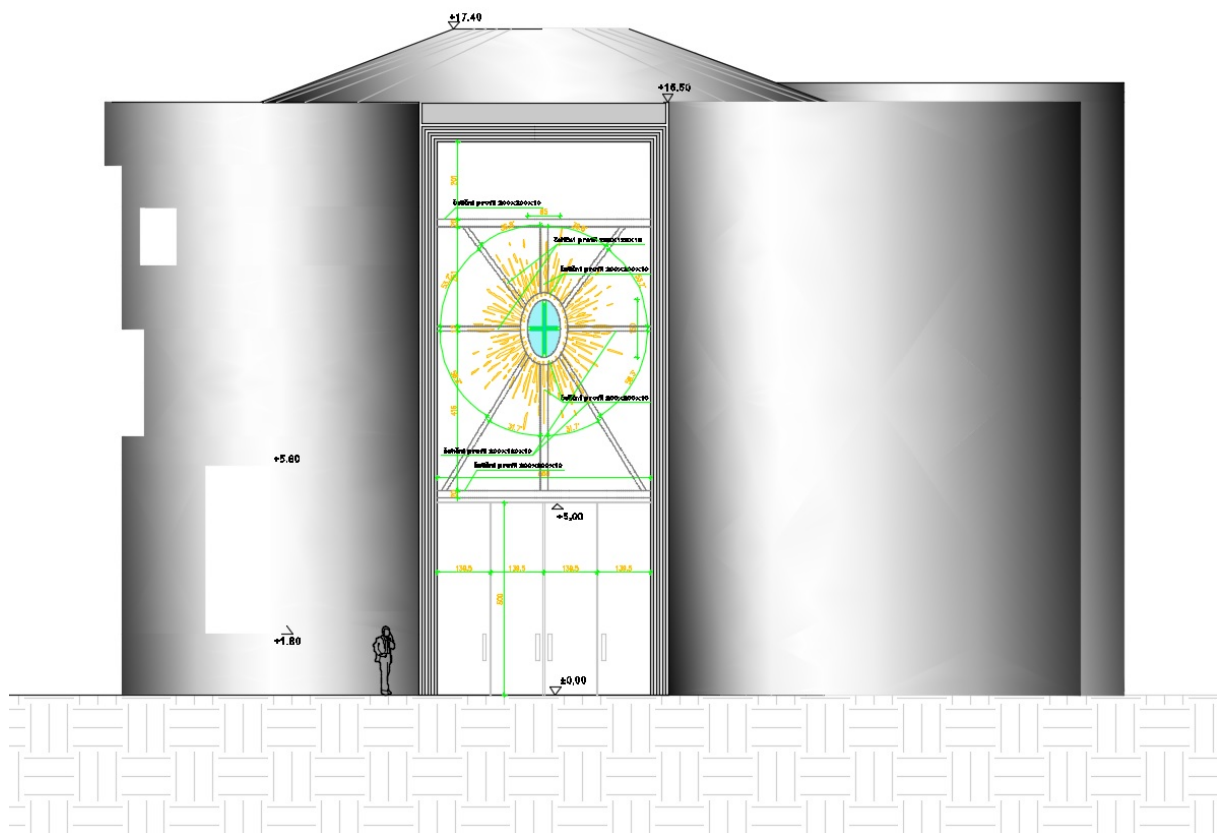
Tablica 4.1 - Kemijski sastav čelika S235J0 [3] .....	21
Tablica 4.2 - Mehanička svojstva čelika S235J0 [4] .....	21
Tablica 5.1 - Debljine presjeka termo izolacijske obloge [5] .....	23
Tablica 5.2 - Gustoće drva [6] .....	24
Tablica 5.3 - Koeficijent vanjskog tlaka $c_{pe}$ za vertikalne površine konstrukcija pravokutnog tlocrta .....	34
Tablica 5.4 - Parametri proračuna promjenljivog opterećenja horizontalnih glavnih nosača ..	36
Tablica 6.1 - Progibi nosača opterećenih vjetrom .....	59

## 1. Uvod

Početak konstruiranja temelji se na prikupljanju potrebnih informacija i podataka vezanih za projektni zadatak. Projektni zadatak, koji je i tema ovog završnog rada je projektiranje i izvođenje metalne konstrukcije portala bazilike u Solinu. Kako bi proces konstruiranja bio ispravan potrebno je poštivati pravila i korake metodičkog konstruiranja. U konkretnom slučaju to bi značilo:

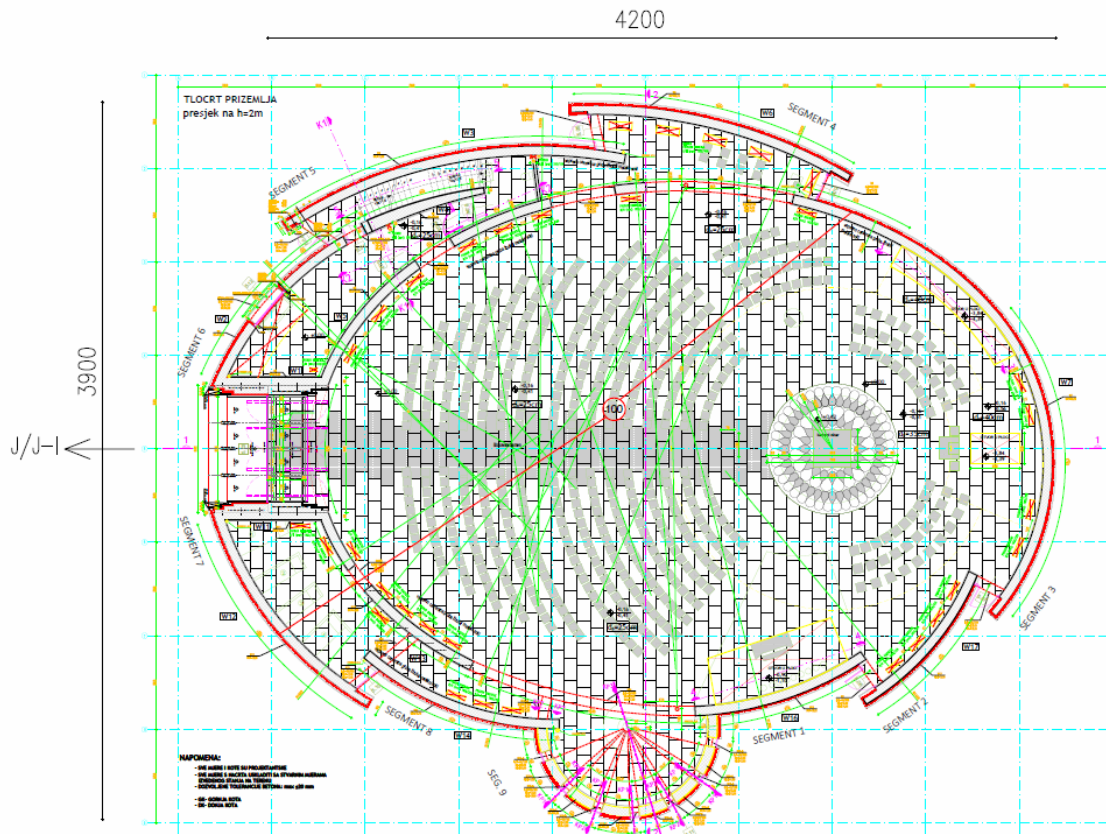
- upoznati se s glavnim projektom objekta, tj. bazilike u Solinu,
- upoznati se s lokacijom objekta,
- upoznati se s zahtjevima glavnog projektanta i investitora vezano za projektni zadatak,
- ponuditi varijante rješenja projektnog zadatka glavnom projektantu i investitoru,
- odabrano projektno rješenje razraditi do razine izvedbenog projekta.

Na slici 1.1 prikazan je 3D model bazilike u Solinu preuzet iz glavnog projekta s ulaznim portalom čija je konstrukcija i izvedba iste zadatak ovog završnog rada.



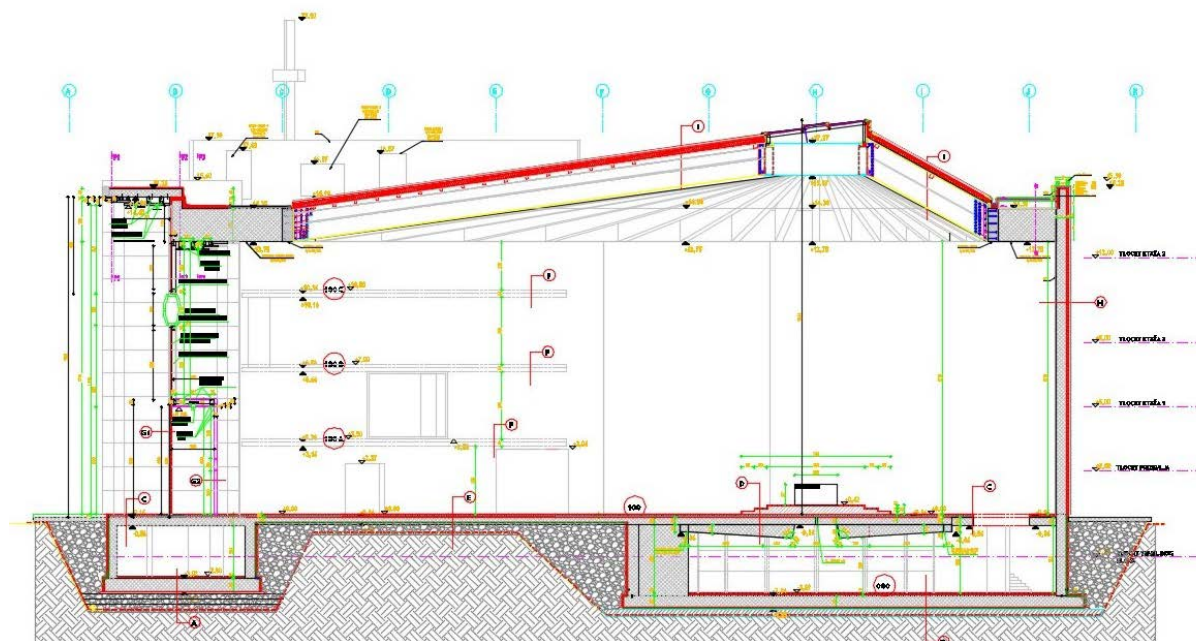
Slika 1.1 - Bazilika u Solinu (model preuzet iz glavnog projekta) [1]

Glavnim projektom [1] su definirane glavne dimenzije bazilike u Solinu, tako da su duljina i širina bazilike prikazane glavnim kotama iznosa 42 m i 39 m, dok je visina bazilike od kote 0 iznosa 18,5 m. Glavne i ostale dimenzije bazilike vidljive su iz tlocrta (*slika 1.2*) i presjeka (*slika 1.3*) bazilike koji su sastavni dio glavnog projekta.



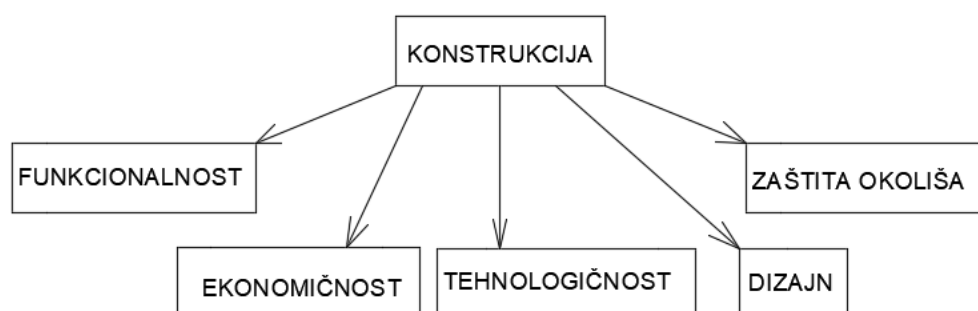
*Slika 1.2 - Tlocrt bazilike u Solinu (tlocrt preuzet iz glavnog projekta) [1]*

Iz tlocrta prikazanog na *slici 1.2* vidljiva je i sama orijentacija portala bazilike. Obzirom da se rješenje projektnog zadatka temelji na proračunu i izboru optimalne varijante rješenja metalne konstrukcije portala, u razmatranje je potrebno uzeti sva opterećenja koja djeluju na sami portal bazilike. Tako osim stalnog opterećenja, a obzirom na lokaciju i orijentaciju portala posebna pozornost predaje se proračunu i izboru metalne konstrukcije portala uslijed promjenljivog opterećenja izazvanog djelovanjem vjetra. Portal bazilike je orijentiran na jugoistok što ga čini podložnim udarima vjetra s juga, koji u Dalmaciji doseže brzinu i do 110km/h. Velika brzina vjetra će uzrokovati veliki vršni tlak koji će obzirom na veliku površinu portala prouzrokovati velika promjenljiva opterećenja.



Slika 1.3 - Presjek bazilike u Solinu (presjek preuzet iz glavnog projekta) [1]

Odabranom varijantom rješenja projektnog zadatka potrebno je udovoljiti zahtjevima glavnog projektanta i investitora. Često u projektiranju nailazimo na tzv. projektni i konstruktivni problem. Zahtjevi i želje koje pred projektante i izvođače postavljaju glavni projektanti i investitori objekata i konstrukcija sve više su estetske naravi. Iz tog razloga dizajn u sustavu ciljeva za tehničko vrednovanje varijanti proizvoda, a pogotovo kada je taj proizvod konstrukcija objekta tipa bazilike u Solinu, a koja predstavlja ukupan cilj, danas uzima i do 50% udjela tehničkog vrednovanja. Rješenje takvog projektnog i konstruktivnog problema leži u usuglašavanju zahtjeva i želja s mogućnostima koje imaju izvođači metalnih konstrukcija. Time se dolazi do funkcionalnog dizajna konstrukcije, tehnološki i ekonomski opravdane izvedbe konstrukcije i na koncu izbora izvedbene varijante metalne konstrukcije kao optimalne.



Slika 1.4 - Sustav ciljeva za tehničko vrednovanje varijanti konstrukcija

Dakle, kako bi se pravilno i objektivno vrednovala tehnička dobrotu odabrane varijante, potrebno je uspostaviti sustav ciljeva te prema tome definirati udio važnosti pojedinih ciljeva u ukupnom cilju, upravo kako je prikazano na *slici 1.4*.

Tada se želje i zahtjevi iz glavnog projekta revidiraju, te kao rješenje projektnog zadatka nastaje izvedbeni projekt u režiji i suradnji projektanta i izvođača metalnih konstrukcija.

Varijante rješenja portala bazilike prezentirane su glavnom projektantu i investitoru u obliku 3D vizualizacija i modela od strane projektanta i izvođača metalnih konstrukcija. Prihvaćeno rješenje portala bazilike u Solinu prikazano je na *slici 1.5*.

Ovim rješenjem potvrđen je funkcionalni dizajn konstrukcije i tehnologija izvedbe iste, dok je za konačan izgled i vanjštinu portala potreban novi projektni korak za koji su potrebne nove spoznaje i znanja iz područja teologije i sakralnosti. Time je ovaj projektni zadatak postao u pravom smislu multidisciplinarnan jer zahtjeva interakciju različitih struka, znanja i vještina. Proces stvaranja vanjskog izgleda portala do njegovog konačnog oblika dat je u poglavlju Tehnologija oblikovanja i izvedbe konstrukcije portala bazilike.



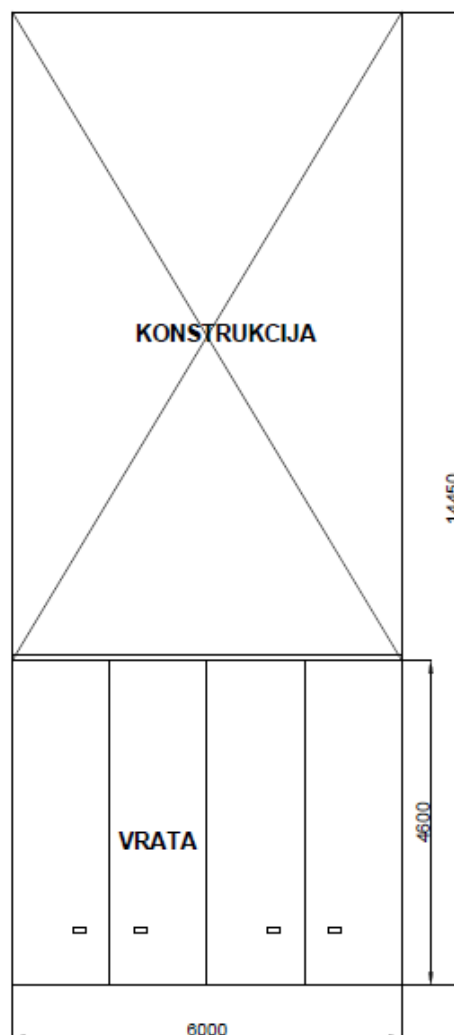
*Slika 1.5 - 3D model odabrane varijante rješenja portala bazilike u Solinu [1]*





Glavnim projektom su definirane i glavne dimenzije portala bazilike u Solinu, tako da su širina i visina portala bazilike prikazane glavnim kotama iznosa 6 m i 15 m. Također, istim je sugerirano oblikovanje i izvedba same metalne konstrukcije, sve kako je prikazano na *slici 1.6*. Sugerirano oblikovanje i izvedba same metalne konstrukcije upravo predstavlja već spomenute zahtjeve i želje glavnog projektanta i investitora. Formiranjem liste zahtjeva i želja od strane projektanta i izvođača metalnih konstrukcija kako bi se krenulo u rješavanje projektnog problema, predstavlja početak metodičkog konstruiranja konstrukcije bazilike u Solinu.

Prvi zahtjev u listi zahtjeva i želja u procesu metodičkog konstruiranja su dimenzije proizvoda. Izvršenom provjerom dimenzije na samom objektu utvrđena su odstupanja, tako da su za daljnju razradu projektnog zadatka do razine izvedbenog projekta mjerodavne dimenzije prikazane na *slici 1.7*.



*Slika 1.7 - Dimenzije portala bazilike*

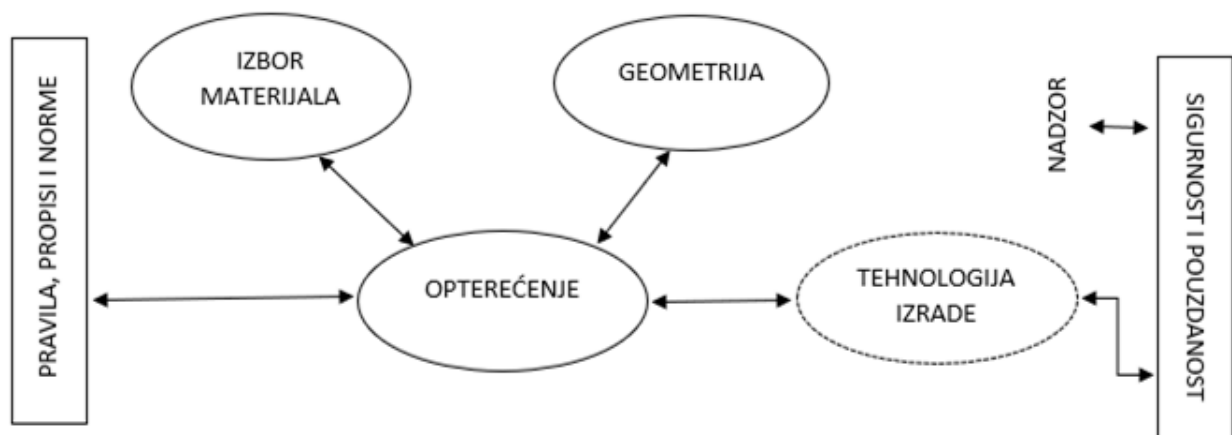


## 2. Metodičko konstruiranje konstrukcije portala bazilike

Poštivanjem procesa metodičkog konstruiranja omogućen je odabir optimalnog koncepta konstrukcije portala bazilike u Solinu između različitih varijanti razmatranih prijedloga konstrukcijskih rješenja. Pri odabiru je korištena metoda eliminacije. Sam proces konstruiranja počinje idejom, ili u ovom slučaju zahtjevom i željom zadanom glavnim projektom i predstavlja projektni i konstruktivni problem, a završava se s izvedbenim projektom i gotovom izvedenom konstrukcijom bazilike u Solinu.

Odabrana varijanta konstrukcije bazilike je optimalno konstrukcijsko rješenje, te determinira i konačan izgled i oblik kompletnog portala bazilike u Solinu.

Zbog potrebne daljnje razrade odabranog konstrukcijskog rješenja prema kriterijima tehničkog i ekonomskog vrednovanja, pristupiti će se konkretiziranju odabrane varijante konstrukcije, a to prije svega podrazumijeva provedbu proračuna nosive metalne konstrukcije portala prema plan prikazanom na *slici 2.1*.



*Slika 2.1 - Plan provedbe proračuna metalne konstrukcije bazilike*

Za potrebe proračuna nosive metalne konstrukcije portala bazilike potrebno je:

- prezentirati shematski i izvedbeni model odabrane varijante kao oblikovano konstruktivno rješenje nosive metalne konstrukcije portala,
- determinirati opterećenja koja djeluju na portal, te
- izvršiti izbor materijala nosive metalne konstrukcije i obloga portala.

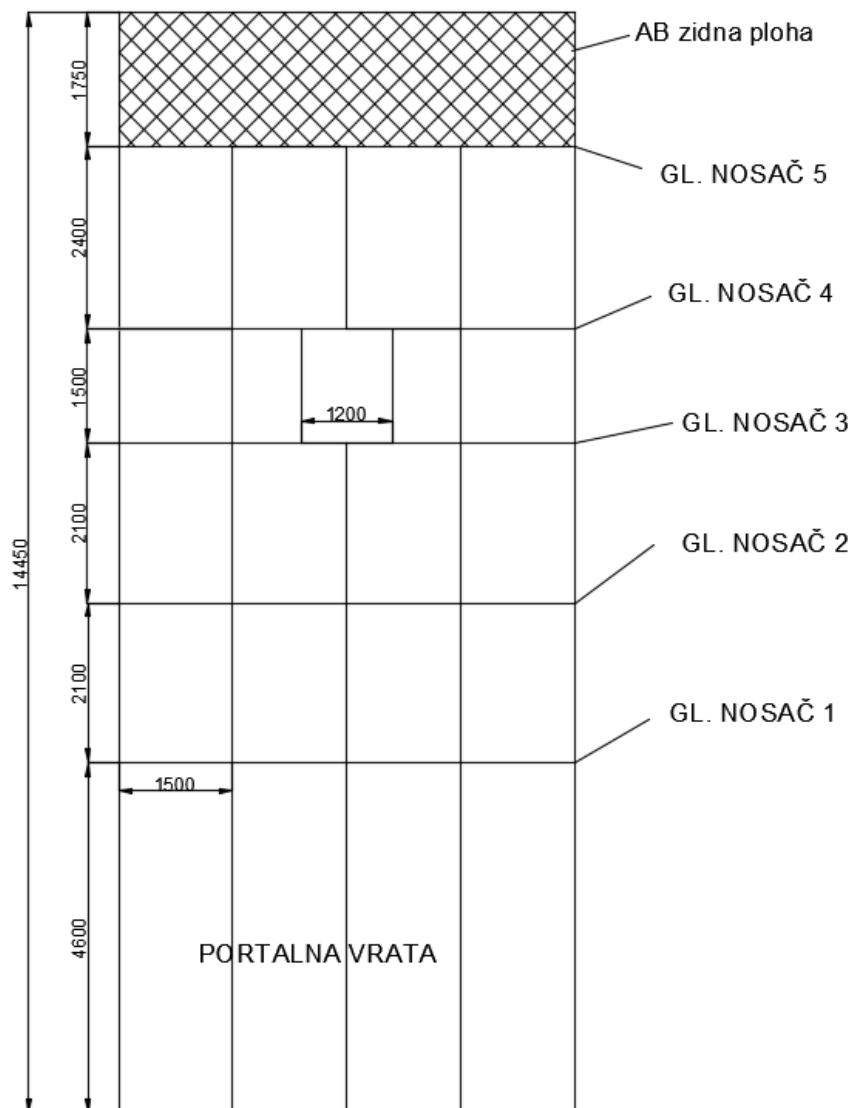
Proračun nosive metalne konstrukcije predstavlja važan korak u procesu metodičkog konstruiranja te omogućava razradu odabrane varijante kao konceptijskog rješenja do razine izvedbenog projekta.

Elementi i komponente nosive metalne konstrukcije koji su obuhvaćeni proračunom u ovom završnom radu prikazani su kroz izvedbene nacрте u poglavlju 7.

Izvedena nosiva metalna konstrukcija portala bazilike mora biti sigurna i pouzdana konstrukcija, a to znači da se u svim prethodnim fazama od ideje, razrade, projektiranja pa do izvođenja moraju poštivati pravila, propisi, standardi i norme.

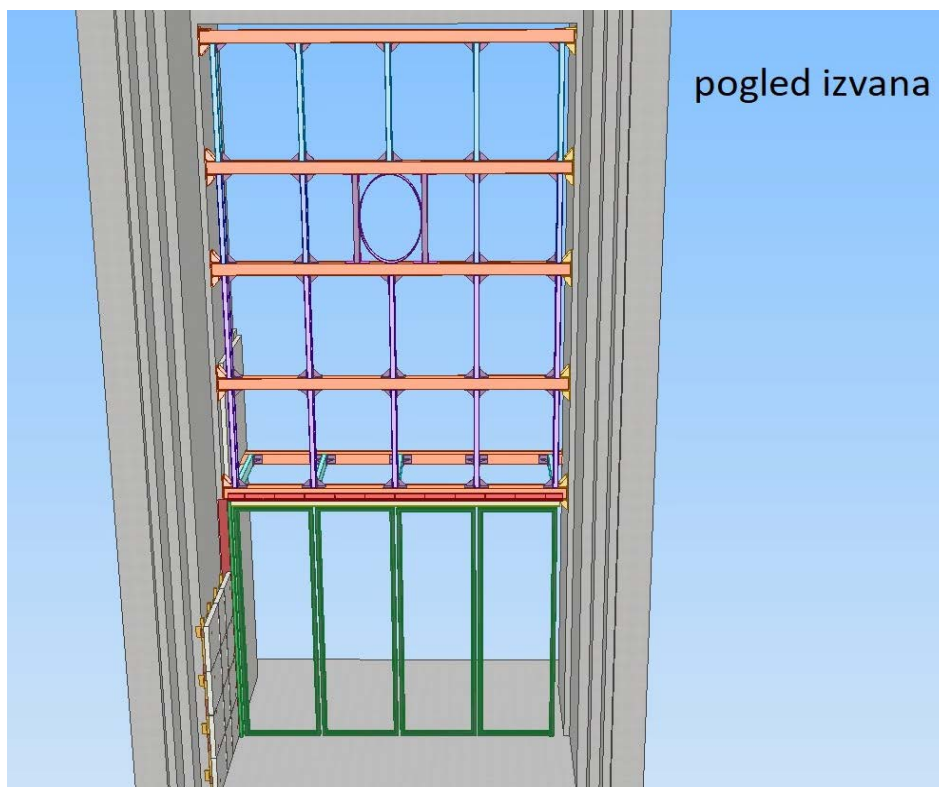
### 3. Odabrana varijanta konstrukcije portala bazilike

Odabrana varijanta konstrukcije portala bazilike sastoji se od 5 horizontalnih glavnih nosača postavljenih na tehnološki oblikovane oslonce koji su usidreni o AB zidnu oblogu portala bazilike, te od vertikalnih veznih nosača koji međusobno povezuju glavne nosače preko posebno tehnološki oblikovanih oslonaca koji su sastavni dio glavnih nosača. U istoj horizontalnoj ravnini glavni nosač pozicije 1 povezan je s istim nosačem čime je postignuta dodatna nosivost i stabilnost donjeg dijela ove nosive metalne konstrukcije. Preliminarne duljine glavnih i veznih nosača date su na *slici 3.1*.



Slika 3.1 - Shematski prikaz nosive konstrukcije portala bazilike

Koncept, tehnologija oblikovanja i izvedba nosive metalne konstrukcije načinom prikazanim na slikama 3.2, 3.3 i 3.4 nameće izbor i geometriju nosača. Konkretnije, odabrana varijanta portala bazilike determinira kutijaste profile kao optimalan izbor za nosače nosive konstrukcije portala. Prema prikazanom na slikama, vertikalni vezni nosači postavljeni su na osnom razmaku od 1500 mm. Između horizontalnih glavnih nosača pozicija 3 i 4 umjesto središnjeg vertikalnog veznog nosača postavljena su dva dodatna vertikalna nosača na udaljenosti svaki po 600 mm od simetrale portala, a koji služe za prihvat rozete sakralne tematike. Izvedbeni projekt definirati će točne dimenzije izvođenja nosive metalne konstrukcije portala.



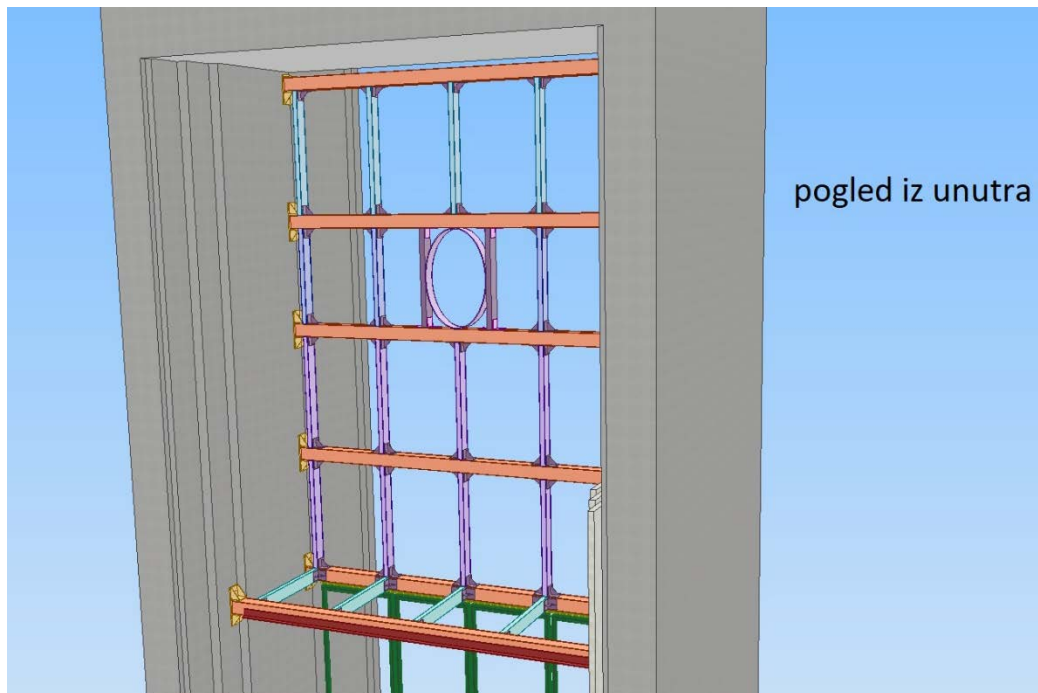
Slika 3.2 - Izvedbeni model nosive konstrukcije portala bazilike [2]

Izvedbena varijanta metalne nosive konstrukcije portala ciljana je i zbog tehnološki prihvatljivog rješenja postavljanja obloga na samu konstrukciju.

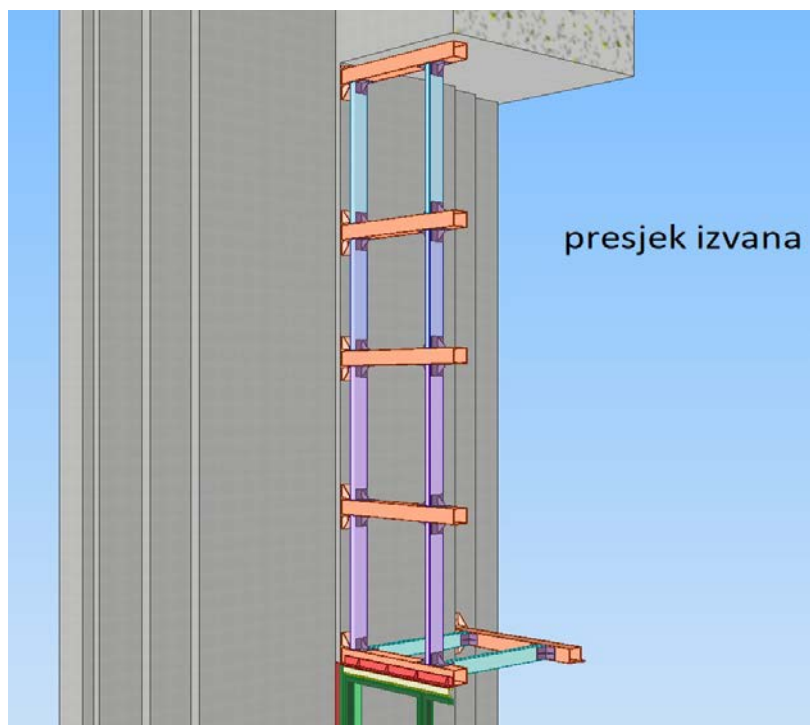
Sukladno glavnom projektu na konstrukciju se postavljaju:

- središnja termo izolacijska obloga,
- vanjska dekorativna obloga iz legure mesinga oznake CuZn37, i
- unutrašnja dekorativna obloga iz hrasta.

Izvedbeni projekt definirati će točne dimenzije izvođenja nosive metalne konstrukcije portala.



*Slika 3.3 - Izvedbeni model nosive konstrukcije portala bazilike [2]*



*Slika 3.4 - Izvedbeni model nosive konstrukcije portala bazilike [2]*

## 4. Izbor materijala portala bazilike

Izbor materijala nosive metalne konstrukcije portala bazilike je toplo valjani konstrukcijski čelik S235J0, sljedećih mehaničkih karakteristika: granice tečenja  $f_{yk} = 240$  MPa, te vlačne čvrstoće  $f_{uk} = 360$  MPa.

Konstrukcijski čelik se kao materijal često koristi za metalne konstrukcije te dolazi u raznim oblicima i profilima. Odlikuje ga visoka granica razvlačenja, vlačna, tlačna i savojna čvrstoća, te žilavost. Uporaba konstrukcijskog čelika S235J0 je regulirana prema normi EN10025-2.

Tablica 4.1 - Kemijski sastav čelika S235J0 [3]

Chemical composition % of steel S235J0 (1.0114): EN 10025-2-2004						
Nominal thickness ≤ 40(mm) CEV max = 0.35						
C	Mn	P	S	N	Cu	CEV
max 0.17	max 1.4	max 0.035	max 0.035	max 0.012	max 0.55	max 0.38

Tablica 4.2 - Mehanička svojstva čelika S235J0 [4]

Vrsta čelika		Naprezanje tečenja ReH (N/mm <sup>2</sup> ) minimalno za nazivne debljine u (mm)								Vlačna čvrstoća Rm (N/mm <sup>2</sup> ) za nazivne debljine u (mm)			
Oznaka po EN 10027-1	Oznaka po EN 10027-2	≤16	>16 ≤40	>40 ≤63	>63 ≤80	>80 ≤100	>100 ≤150	>150 ≤200	>200 ≤250	< 3	> 3 ≤100	> 100 ≤150	> 150 ≤250
S185	1.0035	185	175	-	-	-	-	-	-	310 do 540	290 do 510	-	-
S235	1.0037	235	225	-	-	-	-	-	-				
S235JRG1	1.0036	235	225	-	215	-	-	-	-				
S235JRG2	1.0038	235	225	215	215	215	195	185	175	360 do 510	340 do 470	340 do 470	320 do 470
S235J0	1.0114	235	225	215	215	215	195	185	175				
S235J2G3	1.0116	235	225	215	215	215	195	185	175				
S235J2G4	1.0117	235	225	215		215	195	185	175				

U tablicama 4.1 i 4.2 su prikazani kemijski sastav, te granice tečenja i vlačne čvrstoće materijala S235J0.

Izbor materijala obloga portala bazilike su:

- mesing oznake CuZn37 za vanjsku i dekorativnu oblogu,
- izozid zidni panel koji je obložen čelikom debljine 0,4mm za termo izolaciju, te
- masivni hrast za unutrašnju dekorativnu oblogu.

Svojstva materijala obloge portala su prikazana u nastavku rada.

## 5. Proračun opterećenja portala bazilike

Kako bi se mogao izvršiti izbor najpovoljnijeg oblika i geometrijskih karakteristika poprečnog presjeka nosača nosive metalne konstrukcije potrebno je determinirati opterećenja koja djeluju na portal u eksploatacijskim režimima.

Proračun opterećenja koja djeluju na portal bazilike ima sljedeći redoslijed:

- Proračun stalnog opterećenja (uslijed djelovanja vlastite težine), i
- Proračun promjenljivog opterećenja (uslijed djelovanja vjetra).

Navedeni proračuni se vrše za dimenzije portala i nosive metalne konstrukcije kako su definirane u prethodnom dijelu ovog završnog rada za odabranu varijantu portala bazilike. Dakle, opterećenje se raspoređuje na 5+1 horizontalnih glavnih nosača duljine 6000 mm sa tehnološki oblikovanim fiksnim i pokretnim osloncima.

Za potrebe proračuna preliminarno se preuzimaju, pa time i usvajaju kutijasti profili sljedećih geometrija:

- 200x200x10 mm za horizontalne glavne nosače, i
- 100x200x6 mm za vertikalne vezne nosače.

### 5.1. Proračun stalnog opterećenja

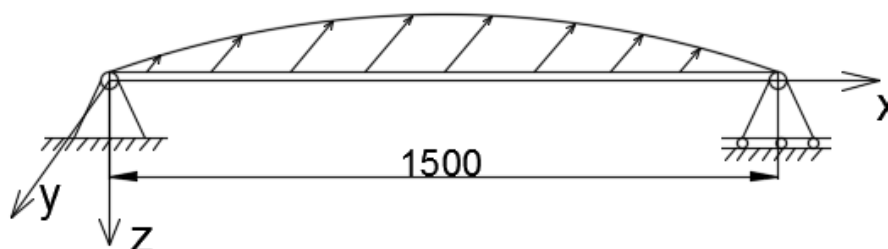
Pri proračunu stalnog opterećenja metalne konstrukcije portala uzima se:

- masa središnje termo izolacijske obloge,
- masa unutrašnje dekorativne obloge od hrasta,
- masa vanjske dekorativne obloge od mesinga, te
- težina glavnog nosača i vertikalnih veznih nosača koji se na njemu nalaze.

#### Središnja termo izolacijska obloga

Iz tablice se može odabrati termo izolacijski panel debljine 30 mm ispitan za opterećenje djelovanja vjetra od  $190 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ , što iznosi  $1,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ , a što je manje od iznosa prethodno proračunatog vršnog tlaka vjetra koji iznosi  $q_p = 1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ , te je njegova težina prema *tablici 5.1*

iznosi  $q_{tp} = 7,06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$ . Termo izolacijski panel je oslonjen na 2 nosača kao što je prikazano na slici 5.1, koji prema EN14509 normi ima dozvoljen progib  $l/200$ .



Slika 5.1 - Termo izolacijski panel oslonjen na 2 nosača

Tablica 5.1 - Debljine presjeka termo izolacijske obloge [5]

Statička svojstva  
(kg/m<sup>2</sup>)

NA DVA NOSAČA

P

l

Vanjska obloga:  
Čelik 0,4 mm  
Unutarnja obloga:  
Čelik 0,4 mm

Debljina panela (mm)	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	Težina (Kg/m <sup>2</sup> )
25	165	90	70								6,88
30	190	110	85	65							7,06
35	215	125	100	80	55						7,24
40	236	145	115	90	65	50					7,42
50	297	185	150	115	85	65	50				7,81
60	357	225	180	140	105	80	60	50			8,20
80	460	305	245	190	140	105	85	65			8,98
100	515	385	305	240	175	135	105	85			9,76
120	620	465	370	290	215	165	130	105			10,54
150	775	580	465	365	270	205	160	130			11,71
180	935	700	560	440	325	245	195	155			12,88
200	1000	780	625	490	360	275	215	175			13,66

Efikasno širina nosača: 120 mm

Obračun za statičko računanje izvršeno po propisanom Prilogu E, UNI EN 14509 norme.  
Granica dozvoljenog progiba:  $l/200$

### Unutrašnja dekorativna obloga

Unutrašnja dekorativna obloga je funkcionalno dizajnirana obloga koja se u svrhu ovog projekta izrađuje od hrasta. U tablici su prikazane tri razine gustoće za razne vrste drva od kojih se u ovom slučaju koristi najmasivniji hrast čija gustoća prema tablici 5.2 iznosi  $\rho = 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Debljina obloge od hrasta je 20 mm.



Tablica 5.2 - Gustoće drva [6]

VRSTA DRVA	Gustoća $\rho_0$ (kg/m <sup>3</sup> )		
	min.	srednja	maks.
Topola	370	410	520
Jela	320	410	710
Smreka	300	430	640
Lipa	320	490	560
Bor	300	490	860
Joha	450	510	600
Kestlen	460	510	550
Ariš	400	590	820
Duglazija	420	560	770
Javor	480	590	790
Breza	460	610	800
Hrast dub	390	620	790
Brijest	440	640	820
Orah		640	
Jasen	410	650	820
Hrast građ.	460	660	840
Bukva	490	680	880
Grab	500	790	920

Duljinska masa obloge od hrasta  $q_h$  dobije se izrazom:

$$q_h = t * \rho \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}, \quad (5.1)$$

gdje je:

- $t = 0.02$  m - debljina stjenke unutrašnje dekorativne obloge, i
- $\rho = 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  - gustoća hrasta,

pa je:

$$q_h = 16,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}.$$

### Vanjska dekorativna obloga

Vanjska dekorativna obloga izrađena je od funkcionalno dizajniranog lima mesinga oznake MS63 (CuZn37) debljine  $t = 2$  mm.

Duljinska masa obloge od mesinga  $q_m$  se dobije prema izrazu (5.1):

$$q_m = t * \rho \frac{\text{kg}}{\text{m}^2},$$

gdje je:

- $t = 0.002$  m - debljina stjenke vanjske dekorativne obloge, i
- $\rho = 8400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  - gustoća mesinga,

pa je:

$$q_m = 16,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}.$$

Ukupno, kontinuirano opterećenje obloge  $q_o$  određuje se izrazom:

$$q_o = (q_{tp} + q_h + q_m) * h_{ref} * g \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (5.2)$$

gdje je:

- $q_{tp}$  - opterećenje termo izolacijskim panelima,
- $q_h$  - opterećenje unutrašnjom dekorativnom oblogom od hrasta,
- $q_m$  - opterećenje vanjskom dekorativnom oblogom od mesinga, te
- $h_{ref}$  - referentna visina vertikalnog veznog nosača,

pa je:

$$q_o = 0,398 * h_{ref} \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

### Horizontalni glavni nosač

Duljina nosača :  $l = 6 \text{ m}$  .

Za preliminarno usvojen profil nosača 200x200x10 mmdobije se duljinska masa  $57,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ .

Pa je opterećenje glavnog nosača samom težinom  $q_{gn}$  zbroj opterećenja zbog mase nosača i opterećenja zbog mase osloncima glavnog nosača:

$$q_{gn} = 57,23 * g + q_{on} \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (5.3)$$

pa je:

$$q_{gn} = 0,561 + q_{on} \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

gdje je:  $q_{on}$ - opterećenje osloncima glavnog nosača.

### Vertikalni vezni nosači

Za profil veznog nosača 100x200x6 mm slijedi da je duljinska masa  $26,16 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ .

Ukupno opterećenje nosača veznim nosačima  $q_{vn}$  dobije se umnoškom opterećenja zbog mase sa visinom nosača i brojem nosača koji su ovješeni na horizontalnom nosaču:

$$q_{vn} = \frac{26,16 * h * g * n}{l} \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (5.4)$$

gdje je:

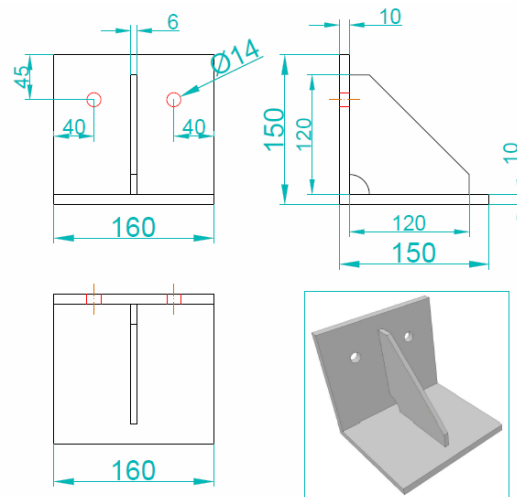
- $n$  - broj veznih nosača, i
- $h$  - referentna visina veznih vertikalnih nosača,
- $l$  - duljina glavnog nosača.

pa je:

$$q_{vn} = 0,042 * h * n \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

### Oslonci horizontalnog glavnog nosača (razvijena širina)

Da bi se dobilo opterećenje osloncima glavnog nosača potrebno je izračunati masu oslonca koja se određuje preko razvijene širine. Na slici 5.2 prikazane su dimenzije oslonca glavnog nosača.



Slika 5.2 - Dimenzije oslonca glavnog nosača [2]

$$m_{on} = \left[ (0,15 + 0,15) * 0,16 * 0,01 + \frac{0,12 + 0,12}{2} * 0,006 \right] * 7850 ,$$

pa je masa jednog oslonca glavnog nosača:

$$m_{on} = (0,00048 + 0,0000432) * 7850 = 4,107 \text{ kg} .$$

### 5.1.1. Stalno opterećenje horizontalnih glavnih nosača

Kao kritični nosači uzimaju se glavni nosač 2 zbog najveće referentne površine pri opterećenju vjetrom i glavni nosač 5 zbog najveće površine tereta koju nosi pri stalnom opterećenju. Glavni nosač 1 je zasad izuzet iz proračuna.

#### Horizontalni glavni nosač pozicije 2

Horizontalni glavni nosač 2 je stalno opterećen masom središnje termo izolacijske obloge, masom unutrašnje dekorativne obloge od hrasta, masom vanjske dekorativne obloge od mesinga, te vlastitom težinom i težinom vertikalnih veznih nosača.

Ukupno stalno opterećenje nosača  $q_t$  određuje se izrazom:

$$q_t = q_{vn} + q_o + q_{gn} \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (5.5)$$

gdje je:

- kontinuirano opterećenje obloge:

$$q_o = 0,398 * h_{ref} = 0,835 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

- kontinuirano opterećenje veznih nosača:

$$q_{vn} = 0,042 * h * n = 0,275 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

- kontinuirano opterećenje glavnog nosača:

$$q_{gn} = 0,561 + q_{on} = 0,628 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

- kontinuirano opterećenje oslonaca glavnog nosača:

$$q_{on} = \frac{4,107 * 10kom * g}{l} = 0,067 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

iz čega slijedi ukupno kontinuirano opterećenje nosača prema izrazu (5.5):

$$q_t = 1,74 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Proračunsko opterećenje  $q_d$  dobije se umnoškom kontinuiranog opterećenja sa koeficijentom sigurnosti:

$$q_{td} = 1,74 * \mu_f = 2,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (5.6)$$

gdje je:  $\mu_f$  - koeficijent sigurnosti za stalno opterećenje (iznosi 1,35).

**Horizontalni glavni nosač pozicije 5**

Horizontalni glavni nosač 5 opterećen je masom središnje termo izolacijske obloge, masom unutrašnje dekorativne obloge od hrasta, masom vanjske dekorativne obloge od mesinga, te težinom glavnog nosača i vertikalnih veznih nosača.

Ukupno stalno opterećenje nosača  $q_t$  određuje se prema izrazu (5.5):

$$q_t = q_{vn} + q_o + q_{gn}$$

gdje je:

- kontinuirano opterećenje obloge:

$$q_o = 0,398 * h_{ref} = 0,955 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

- kontinuirano opterećenje veznih nosača:

$$q_{vn} = 0,042 * h * n = 0,313 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

- kontinuirano opterećenje glavnog nosača:

$$q_{gn} = 0,561 + q_{on} = 0,628 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

- kontinuirano opterećenje oslonaca glavnog nosača:

$$q_{on} = \frac{4,107 * 10 \text{kom} * g}{l} = 0,067 \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

iz čega slijedi ukupno kontinuirano opterećenje nosača prema izrazu (5.5):

$$q_t = 1,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Prema izrazu (5.6) proračunsko opterećenje  $q_d$  iznosi:

$$q_{td} = 1,9 * \mu_f = 2,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

## 5.2. Proračun promjenljivog opterećenja

Opterećenje vjetrom je promjenjivo slobodno djelovanje na konstrukciju. Ovisno o osjetljivosti na dinamičku uzbuđu primjenjuju se dva postupka za proračun opterećenja vjetrom:

- pojednostavljeni postupak koji se primjenjuje za konstrukcije koje su neosjetljive na dinamičku uzbuđu te za proračun dinamički umjereno osjetljivih konstrukcija, primjenom dinamičkog koeficijenta  $c_d$ , i
- detaljni postupak se primjenjuje za konstrukcije za koje se očekuje da su osjetljive na dinamičku uzbuđu i kod kojih je vrijednost dinamičkog koeficijenta  $c_d$  veća od 1,2.

Pojednostavljeni postupak se može koristiti za zgrade i dimnjake visine manje od 200 m i znači da se djelovanje vjetra uzima kao zamjenjujuće statičko opterećenje i biti će korišten u daljnjem proračunu [12].

Osnovna brzina vjetra  $v_b$  definirana je jednadžbom:

$$v_b = v_{b,0} * c_{dir} * c_{season} \frac{m}{s}, \quad (5.7)$$

gdje je:

- $v_{b,0}$  - temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra (karakteristična 10 minutna prosječna brzina vjetra na visini 10 m iznad terena II. kategorije hrapavosti)  $\frac{m}{s}$ ,
- $c_{dir}$  - koeficijent smjera vjetra (usvaja se vrijednost 1,0), te
- $c_{season}$  - koeficijent ovisan o godišnjem dobu (usvaja se vrijednost 1,0).

Prema slici 5.3 temeljna brzina vjetra na lokaciji Solin iznosi  $v_{b,0} = 35 \frac{m}{s}$ .

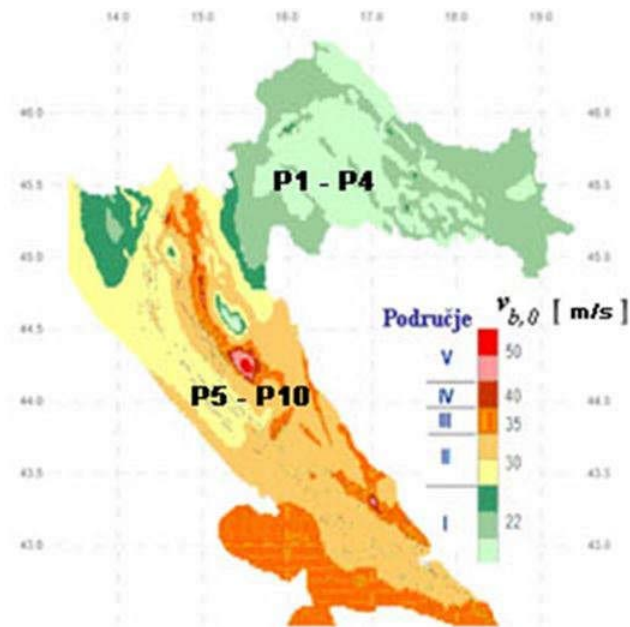
Uvrštavanjem vrijednosti u izraz (5.7) dolazi se do iznosa osnovne brzine vjetra koja je jednaka temeljnoj brzini vjetra:

$$v_b = 35 \frac{m}{s}.$$

Osnovni tlak izazvan brzinom vjetra  $q_b$  ovisi o osnovnoj brzini vjetra i gustoći zraka a određuje se izrazom:

$$q_b = \frac{\rho}{2} * v_b^2 \frac{N}{m^2}, \quad (5.8)$$

gdje je  $\rho = 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  - preporučena vrijednost prema HRN EN 1991-1-4:2012/NA, te se dobiva iznos osnovnog tlaka izazvanog brzinom vjetra:  $q_b = 765,62 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .



Slika 5.3 - Zemljovid područja opterećenja vjetrom za Republiku Hrvatsku [11]

Na slici 5.3 je prikazan zemljovid područja opterećenja vjetrom sa ucrtanom temeljnom vrijednosti brzine vjetra za Republiku Hrvatsku.

Vršni tlak koji je izazvan brzinom vjetra  $q_p(z)$  prema prijedlogu nacionalnog dodatka računa se izrazom:

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, \quad (5.9)$$

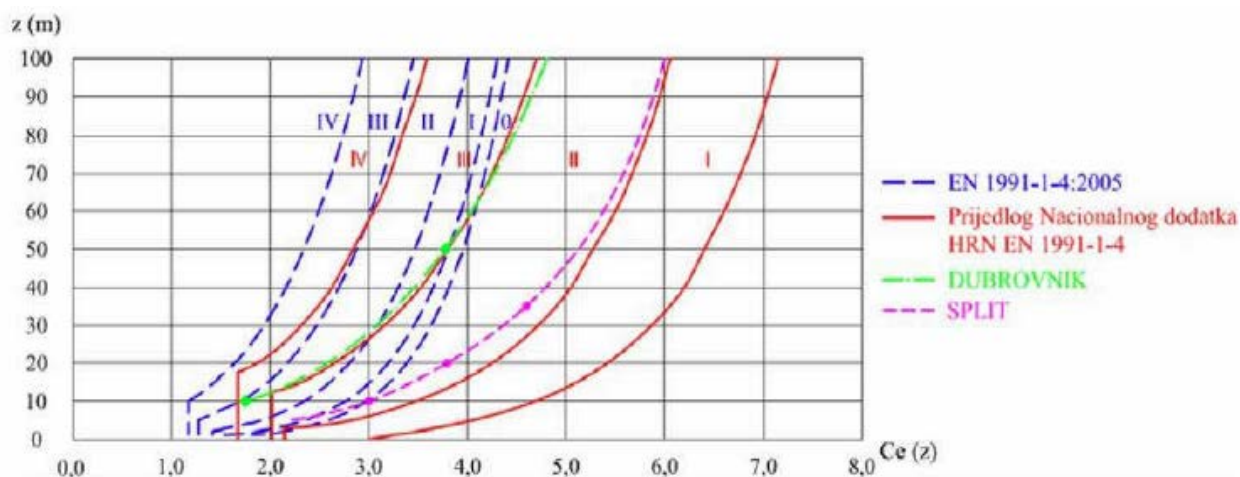
pa je:

$$q_p(z) = 1531,24 \frac{\text{N}}{\text{m}^2},$$

gdje je:  $c_e(z)$  - koeficijent izloženosti vjetru i uzima se prema slici 2.1 te iznosi

$c_e(z) = 2$  (za kategoriju terena III i visinu  $z = 15$  m).





Slika 5.4 - Dijagram koeficijenta izloženosti vjetra za kategoriju III i visinu 15m [11]

Na slici 5.4 prikazan je dijagram koeficijenta izloženosti vjetru.

Vršni tlak vjetra se može računati i prema europskoj normi EN 1991-1-4:2005.

Pri tome je prosječna komponenta brzine vjetra  $v_m(z)$  definirana jednadžbom [11]:

$$v_m(z) = c_r(z) * c_o(z) * v_b \frac{\text{m}}{\text{s}}, \quad (5.10)$$

gdje je:

- $v_b$ - prethodno izračunata osnovna brzina vjetra i iznosi  $v_b = 35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ,
- $c_r(z)$  - koeficijent hrapavosti terena, te
- $c_o(z)$  - koeficijent orografije terena (uzima se vrijednost 1,0).

Koeficijent hrapavosti terena  $c_r(z)$  određuje se prema izrazu:

$$c_r(z) = k_r * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (5.11)$$

gdje je:

- $z_0$  - visina hrapave površine,
- $k_r$  - koeficijent terena ovisan o visini hrapave površine i dobiva se prema izrazu:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0II}}\right)^{0,07}. \quad (5.12)$$

Za kategoriju terena III slijedi da je:  $z_0 = 0,3 \text{ m}$ ,

$$z_{0II} = 0,05 \text{ m},$$

pa se uvrštavanjem u izraz (5.12) dobije koeficijent terena:

$$k_r = 0,215.$$

Dalje, uvrštavanjem dobivenih veličina u izraz (5.11) dobiva se iznos koeficijenta hrapavosti terena  $c_r(z)$ :

$$c_r(z) = 0,84 ,$$

pa je prosječna komponenta brzine vjetra prema izrazu (5.10):

$$v_m(z) = 29,44 \frac{\text{m}}{\text{s}} .$$

Intenzitet turbulencije  $I_v(z)$  na visini  $z= 15$  m definiran je jednadžbom:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_o(z) * \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} , \quad (5.13)$$

gdje je  $k_I$ - koeficijent turbulencije (usvaja se  $k_I= 1$ ), pa je:

$$I_v(z) = 0,256 .$$

Konačno, vršni tlak izazvan brzinom vjetra  $q_p(z)$  definiran je jednadžbom:

$$q_p(z) = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{\rho}{2} * v_m^2(z) \frac{\text{N}}{\text{m}^2} , \quad (5.14)$$

pa je :

$$q_p(z) = 1512,41 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} .$$

Vidljivo je da se vršni tlak vjetra izračunat prema nacionalnom dodatku i onaj izračunat prema europskoj normi razlikuju samo u 1-2 % stoga se za daljnji proračun mogu koristiti obje vrijednosti. Ipak, u daljnjem proračunu kao mjerodavan se uzima vršni tlak vjetra izračunat prema nacionalnom dodatku  $q_p= 1531,24 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$ .

Dalje, sila vjetra  $F_w$  na konstrukciju računa se pomoću koeficijenata sila i određuje se jednadžbom:

$$F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref} \text{N} \quad (5.15)$$

gdje je:

- $c_s c_d$ - koeficijent konstrukcije (koeficijent veličine i dinamički koeficijent),
- $c_f$ - koeficijent sile za konstrukciju ili konstrukcijski element, te
- $A_{ref}$  - usporedna (referentna) površina konstrukcije ili konstrukcijskog elementa  $\text{m}^2$ .

Koeficijent konstrukcije  $c_s c_d = 1$ , uz uvjet da je visina konstrukcije manja od 4 širine konstrukcije u smjeru djelovanja vjetra ( $15 < 4 * 42$ ).

Proračun koeficijenta sile  $c_f$  dat je izrazom:

$$c_f = c_{pe} + c_{pi} , \quad (5.16)$$

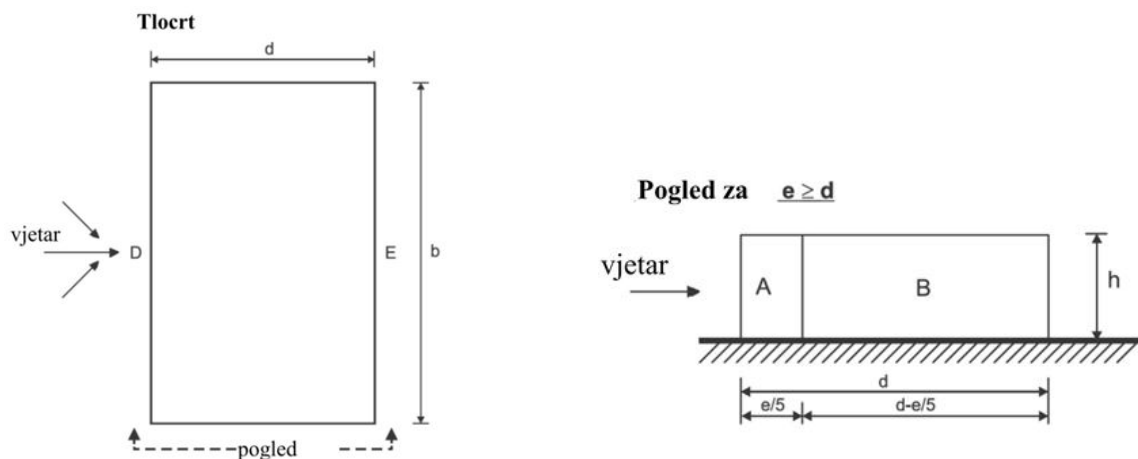
pa je:

$$c_f = 1,4 ,$$

gdje je:

$c_{pi}$ - koeficijent unutarnjeg tlaka (usvaja se  $c_{pi} = 0,2$ ), te

$c_{pe}$ - koeficijent vanjskog tlaka.



Slika 5.5 - Koeficijent vanjskog tlaka  $c_{pe}$  za vertikalne površine konstrukcija pravokutnog tlocrta [11]

Na slici 5.5 prikazana je raspodjela opterećenja za konstrukcije pravokutnog tlocrta.

Za područje A prema slici i za  $h/d = 0,4$ ,  $e=b=42$  m ( $e/5 = 42/5 = 8,4$  m), jer je prema slici 1.1  $d = 39$  m, i  $e = 42$  m, a  $h = 15,5$  m, te s obzirom na specifičnost izgleda tlocrta konstrukcije i prema tablici 5.3 proizlazi da je  $c_{pe} = 1,2$ .

Tablica 5.3 - Koeficijent vanjskog tlaka  $c_{pe}$  za vertikalne površine konstrukcija pravokutnog tlocrta

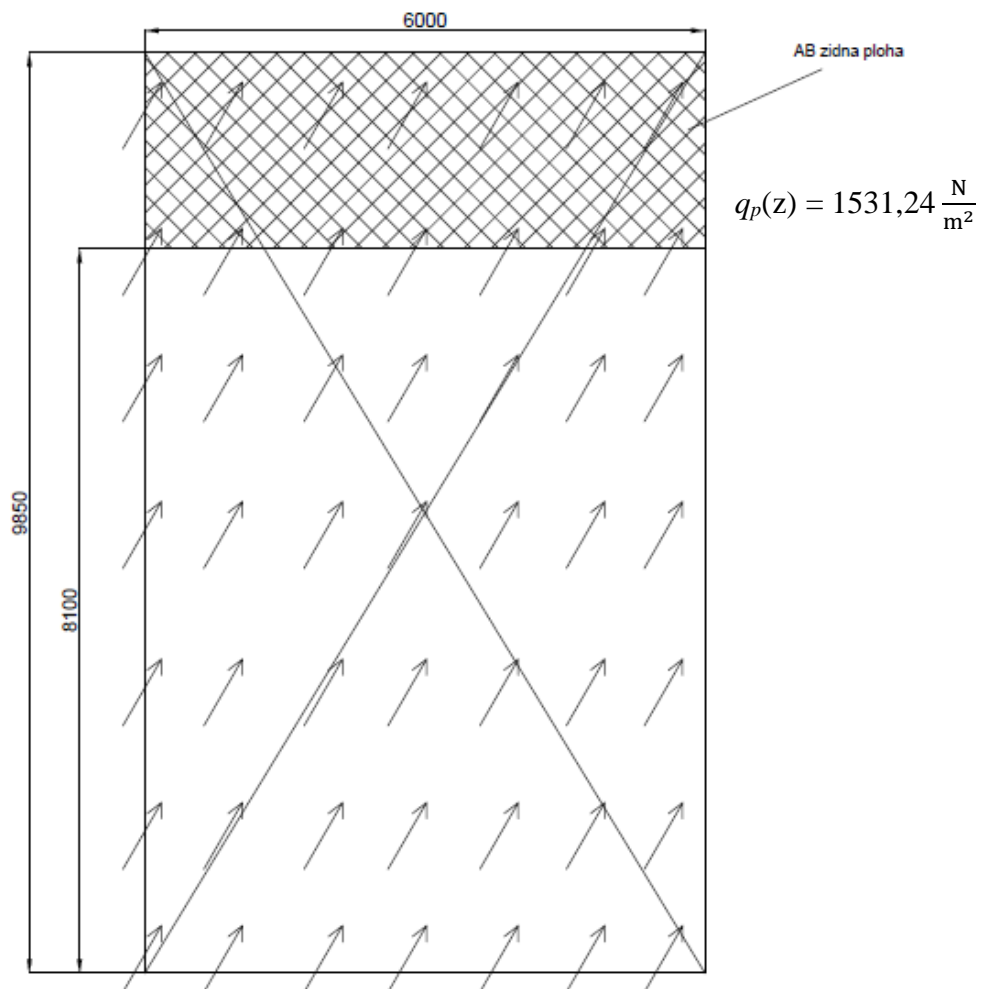
Područje	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,3	

Uvrštavanjem vrijednosti koeficijenata sila i vršnog tlaka u izraz (5.15) dolazi se do krajnjeg izraza za silu vjetra:

$$F_w = 2,14 * A_{ref} N .$$

Referentna površina će se uvrštavati u daljnjem proračunu.

Na slici 5.6 prikazane su dimenzije konstrukcije, sa AB plohom opterećene vjetrom.



Slika 5.6 - Konstrukcija opterećena vjetrom

### 5.2.1. Promjenljivo opterećenje horizontalnih glavnih nosača

Opterećenje vjetrom na referentnu površinu  $q_p$  dobije se prema izrazu

$$q_p = q_p * z_{ref}, \quad (5.17)$$

gdje je:

- $q_p$ - izračunati vršni tlak vjetra, i
- $z_{ref}$  - referentna visina.

Tablica 5.4 - Parametri proračuna promjenljivog opterećenja horizontalnih glavnih nosača

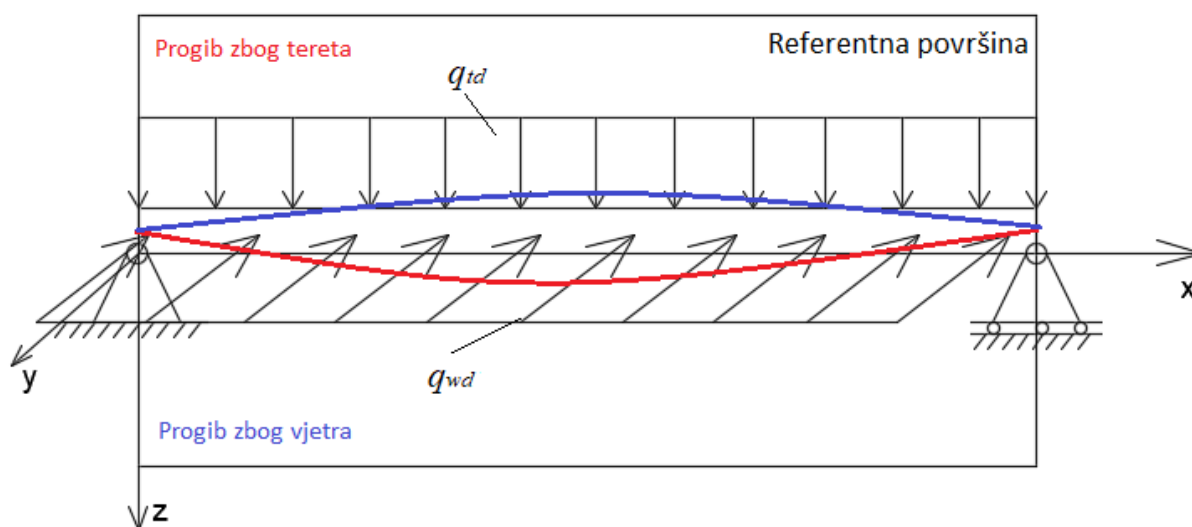
Nosač br.	Referent na visina $z_{ref}$ [m]	Opterećenje vjetrom na površinu $q_p$ (z) [kN/m]	Kontinuirano opterećenje $q_w$ [kN/m]
1	3,35	5,1 (2,55)	7,65 (3,825)
2	2,1	3,2	4,8
3	1,8	2,75	4,125
4	1,95	2,98	4,47
5	1,2	1,83	2,745

Iz tablice 5.4 vidljivo je da parametri proračuna promjenljivog opterećenja horizontalnih glavnih nosača variraju, ovisno o referentnoj visini. Također, vidljivo je da parametri glavnog horizontalnog nosača 1 odstupaju od ostalih, međutim za poziciju 1 je predviđen dodatni horizontalni nosač koji se nalazi u istoj horizontalnoj ravnini (horizontalni glavni nosač 0) koji će preuzimati polovicu opterećenja. Stoga se u nastavku, za proračun glavnog horizontalnog nosača 1 proračuna uzima polovica vrijednosti (prikazano u zagradama) prikazanih u tablici 5.4.

## 6. Izbor geometrije nosača konstrukcije portala bazilike

Odabrana varijanta nosive metalne konstrukcije kao konstruktivno rješenje mora udovoljiti kriterijima nosivosti i krutosti. Analogno tome, odabrani profili moraju imati potrebnu čvrstoću, dok progibi koji su rezultat opterećenja moraju biti u granicama određenim standardima, tj. kako ih za nosive metalne konstrukcije propisuje Eurocode 1 i Eurocode 3. Dakle, potrebno je izvršiti pravilan izbor geometrije horizontalnih glavnih i vertikalnih veznih nosača.

Zadovoljavajuća čvrstoća je uz krutost najvažniji kriterij za konstrukciju. U slučaju da čvrstoća nije zadovoljavajuća konstrukcija nije iskoristiva. U pravilu se čvrstoća provjerava na način da se računa stvarno naprezanje konstrukcije koje mora biti manje od dopuštenog naprezanja za odabrani materijal. S obzirom da na svaki nosač djeluju dvije vrste opterećenja, te se progibi stvaraju oko dvije koordinatne osi (y i z), potrebno je izračunati ekvivalentno naprezanje koje mora biti manje od dopuštenog naprezanja za čelik S235 kako bi se zadovoljila čvrstoća. U nastavku je prikazan proračun čvrstoće za dva kritična nosača konstrukcije. Na slici 6.1 je prikazan jednostavno oslonjen nosač opterećen vjetrom i teretom.



Slika 6.1 - Nosač opterećen težinom i vjetrom

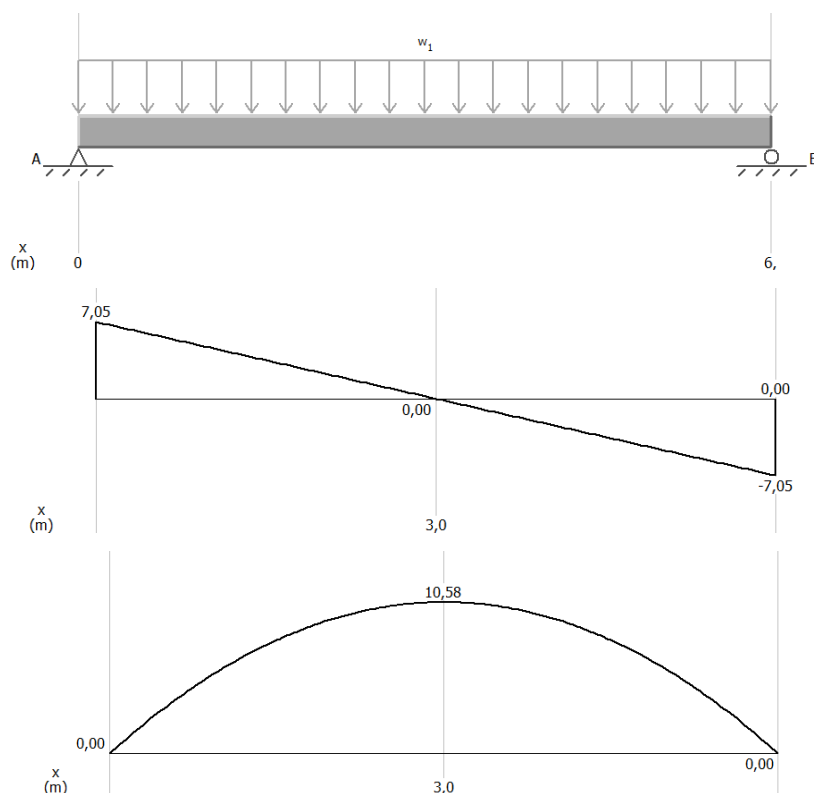
## 6.1. Izbor geometrije horizontalnog glavnog nosača pozicije 2

Izbor profila glavnog nosača se vrši s obzirom na stalno i na promjenljivo opterećenje, odnosno s obzirom na težinu i na utjecaj vjetra. Navedena opterećenja uzrokuju moment oko y, odnosno z osi, za koje je potrebno izračunati ekvivalentni moment, prema kojem će se računati potrebna debljina stjenke profila [10]. U ovom poglavlju će se dokazati da li preliminarno usvojen profil 200x200x10 mm zadovoljava opterećenja glavnog nosača 2.

### Os y (opterećenje uslijed djelovanja vlastite težine):

Na slici 6.2 su prikazani dijagrami reakcijskih sila i momenata za:

$$q_{td} = 2,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

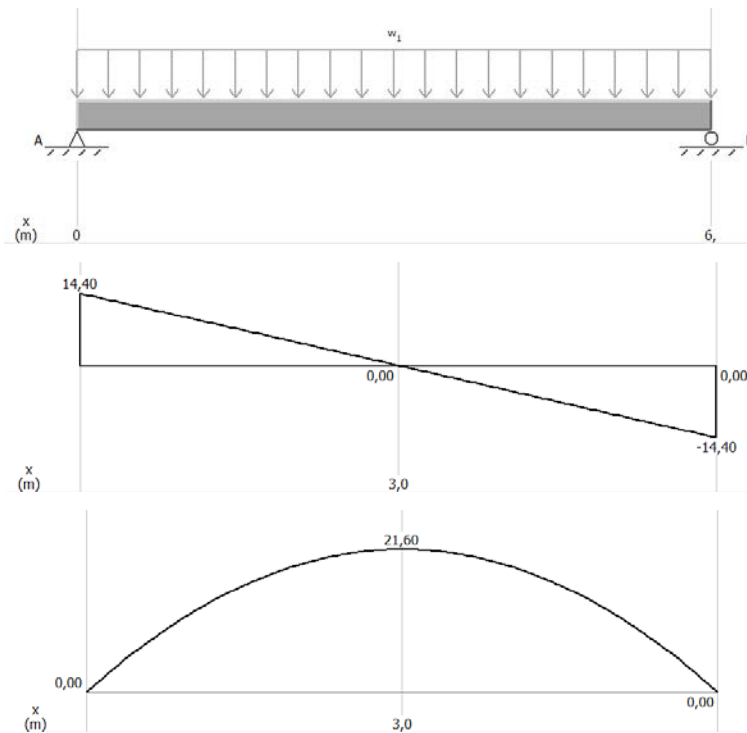


Slika 6.2 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 2 opterećenog težinom

### Os z (opterećenje uslijed djelovanja vjetra):

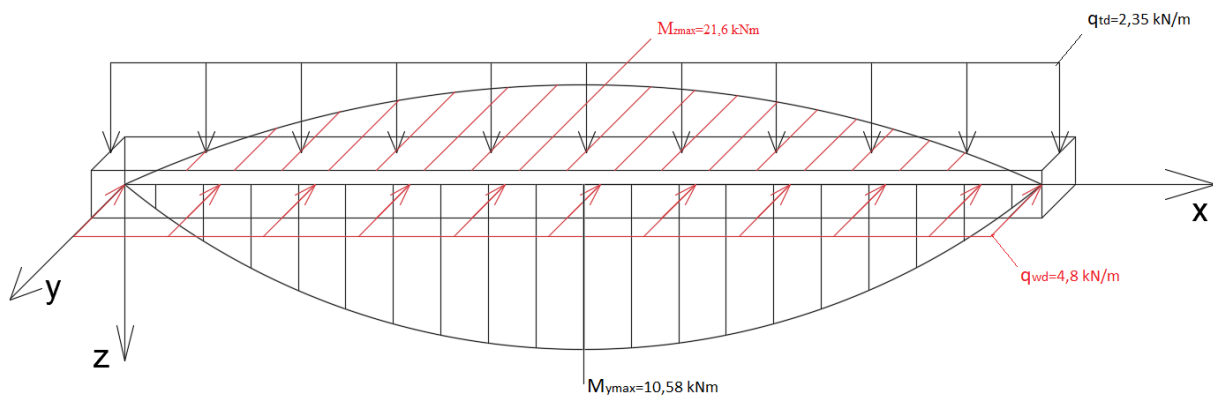
Na slici 6.3 su prikazani dijagrami reakcijskih sila i momenata za:

$$q_{wd} = 4,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$



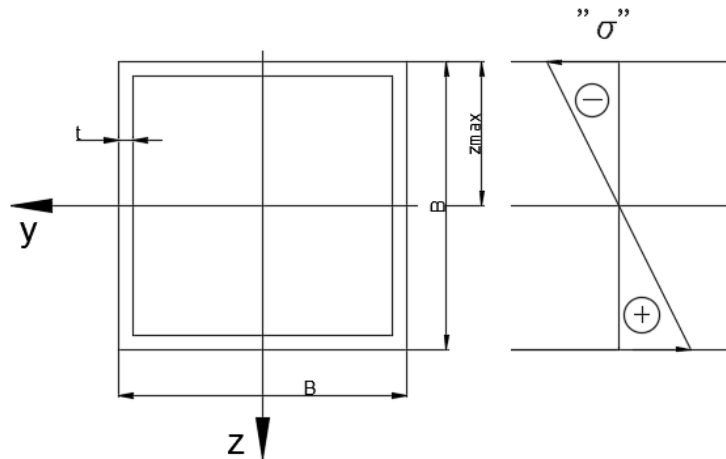
Slika 6.3 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 2 opterećenog vjetrom

Na slici 6.4 je prikazan glavni nosač 2 opterećen vjetrom i težinom sa pripadajućim momentima za svako od opterećenja.



Slika 6.4 - Glavni nosač opterećen težinom i vjetrom





Slika 6.5 - Presjek profila glavnog nosača

Na slici 6.5 je prikazan presjek profila glavnog nosača.

S obzirom da se u obzir uzimaju utjecaj vjetra i težine izbor glavnog nosača 2 određuje se preko ekvivalentnog momenta.

Proračunska granica tečenja materijala određuje se izrazom:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\mu_m} = 218 \text{ MPa}, \quad (6.1)$$

gdje je za materijal S235:

- granica tečenja  $f_{yk} = 240 \text{ MPa}$ , te
- koeficijent sigurnosti strukture materijala  $\mu_m = 1,1$ .

Maksimalno dopušteno naprezanje  $\sigma_{max}$ :

$$\sigma_{max} = \frac{M_s}{W} = \frac{M_s}{I} * \frac{B}{2} \leq f_{yd} \text{ MPa}, \quad (6.2)$$

gdje je:

- $M_s$  - ekvivalentni moment savijanja,
- $W$  - moment otpora presjeka,

- $I$  - moment tromosti presjeka,
- $B$  - širina poprečnog presjeka profila, te
- $f_{yd}$  - proračunska granica tečenja materijala (218 MPa).

Usvaja se da je visina profila  $B = 20t$ ,

gdje je  $t$  - debljina stjenke profila.

Moment inercije  $I$  se dobije prema izrazu:

$$I = \frac{B^4}{12} \text{ mm}^4 . \quad (6.3)$$

Minimalna potrebna debljina  $t$  se dobije kombinacijom izraza (6.2) i (6.3):

$$t \geq \sqrt[3]{\frac{3 * M_s}{4 * 10^3 * f_{yd}}} \text{ mm} . \quad (6.4)$$

Ekvivalentni moment savijanja  $M_s$  određuje se prema izrazu:

$$M_s = \sqrt{M_{y\max}^2 + M_{z\max}^2} \text{ Nmm} , \quad (6.5)$$

pa je:

$$M_s = 24 * 10^6 \text{ Nmm} .$$

Uvrštavanjem dobivenih iznosa u izraz (6.4) dobije se iznos za debljinu  $t$ :

$$t \geq \sqrt[3]{\frac{3 * 24 * 10^6}{4 * 10^3 * 218}} \rightarrow t \geq 4,35 \text{ mm} .$$

Na zahtjev investitora usvaja se  $t = 10 \text{ mm}$ .

S obzirom na usvojenu debljinu stjenke profila usvaja se kvadratni profil  $B \times B \times t = 200 \times 200 \times 10 \text{ mm}$ .

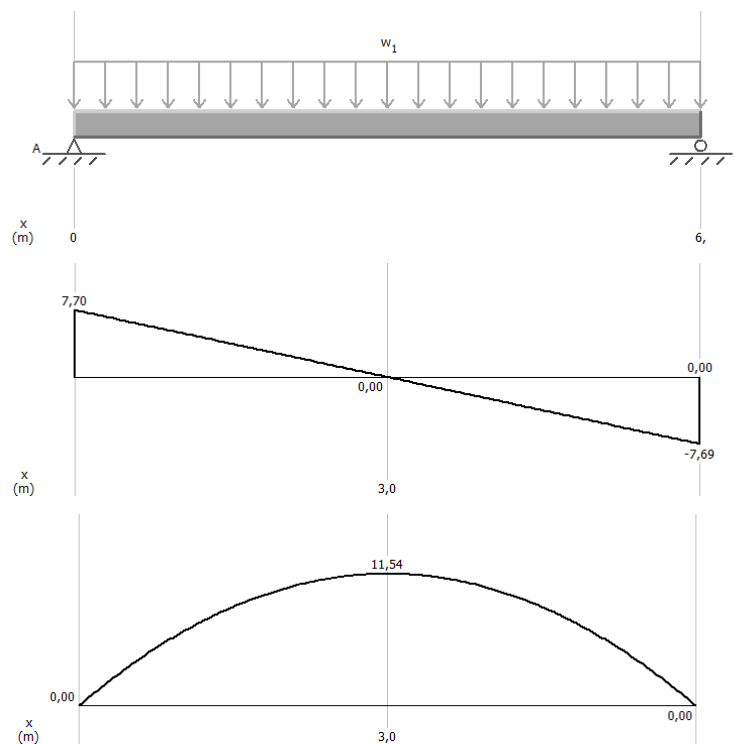
## 6.2. Izbor geometrije horizontalnog glavnog nosača pozicije 5

U prethodnom pod poglavlju izvršen je izbor profila glavnog nosača 2 s obzirom na utjecaj vjetra i težine, s tim da je nosač 2 je najopterećeniji nosač s obzirom na utjecaj vjetra. Sada se vrši izbor profila glavnog nosača 5 prema utjecaju težine i vjetra jer nosač 5 nosi površinski najveći teret. Ako i u ovom slučaju preliminarno izabrani profil zadovoljava ekvivalentni moment smatra se da je on zadovoljavajući za cijelu konstrukciju.

### Os y (opterećenje uslijed djelovanja vlastite težine):

Na slici 6.6 prikazani su dijagrami reakcijskih sila i momenata za:

$$q_{td} = 2,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

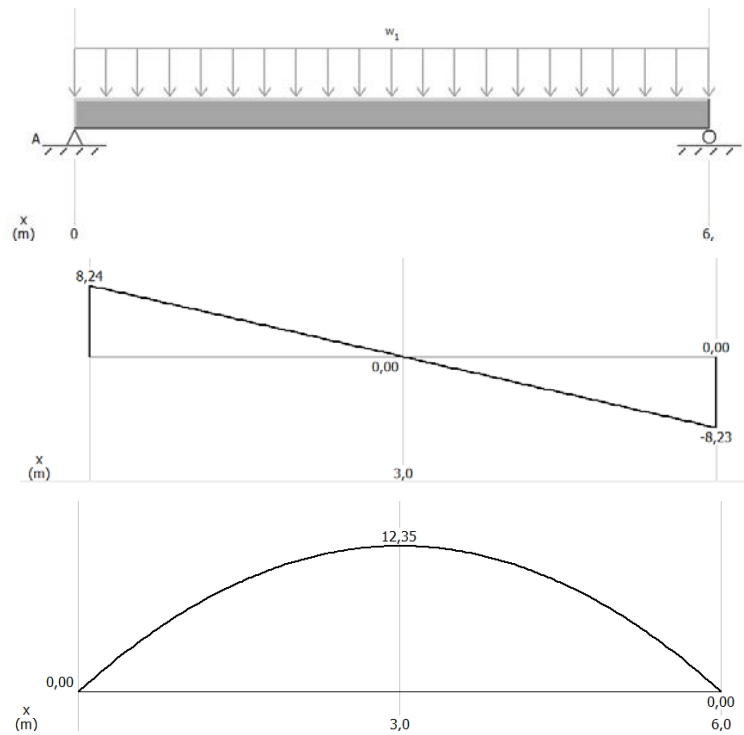


Slika 6.6 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 5 opterećenog težinom

### Os z (opterećenje uslijed djelovanja vjetra):

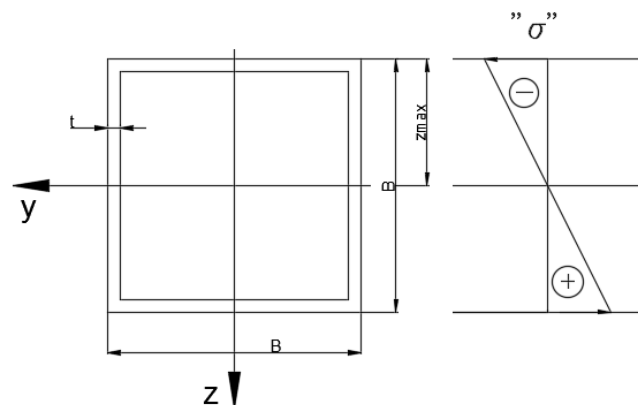
Na slici 6.7 prikazani su dijagrami reakcijskih sila i momenata za:

$$q_{wd} = 2,745 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Slika 6.7 - Dijagrami sila i momenata glavnog nosača 5 opterećenog vjetrom

Na slici 6.8 je prikazan presjek glavnog nosača 5.



Slika 6.8 - Presjek glavnog nosača

Maksimalno dopušteno naprezanje  $\sigma_{max}$  prema izrazu (6.2):

$$\sigma_{max} = \frac{M_s}{W} = \frac{M_s}{I} * \frac{B}{2} \leq f_{yd} \text{ MPa},$$

Usvaja se da je visina profila  $B = 20t$ ,

gdje je  $t$  - debljina stjenke profila.

Moment inercije  $I$  prema izrazu (6.3):

$$I = \frac{B^4}{12} \text{ mm}^4 .$$

Minimalna potrebna debljina  $t$  (izraz 6.4) dobije se kombinacijom izraza (6.2) i (6.3):

$$t \geq \sqrt[3]{\frac{3 * M_s}{4 * 10^3 * f_{yd}}} \text{ mm} .$$

Ekvivalentni moment savijanja  $M_s$  određuje se prema izrazu (6.5):

$$M_s = \sqrt{M_{y\max}^2 + M_{z\max}^2} \text{ Nmm} ,$$

pa je:

$$M_s = 16,9 * 10^6 \text{ Nmm} .$$

Uvrštavanjem dobivenih iznosa u izraz (6.4) dobije se iznos za debljinu  $t$ :

$$t \geq \sqrt[3]{\frac{3 * 16,9 * 10^6}{4 * 10^3 * 218}} \rightarrow t \geq 3,87 \text{ mm} .$$

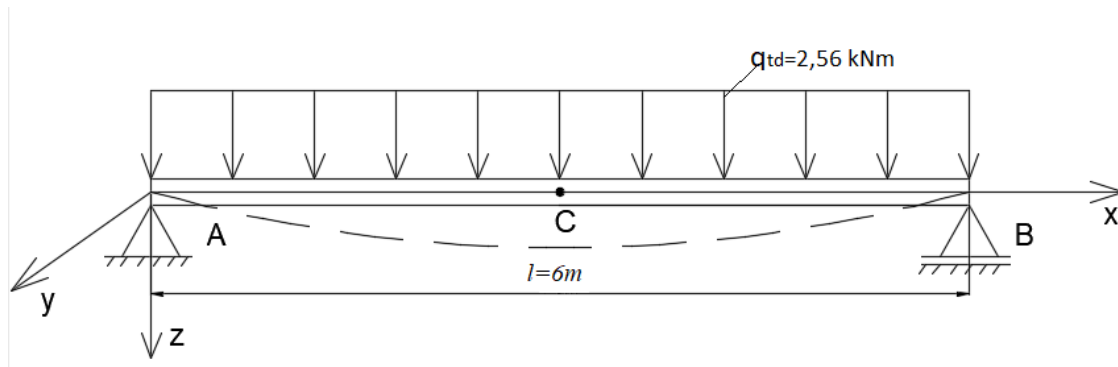
Na zahtjev investitora usvaja se  $t = 10$  mm.

S obzirom na usvojenu debljinu stjenke profila usvaja se kvadratni profil  $BxBxt = 200x200x10$  mm.

S obzirom da je preliminarno usvojena debljina stjenke profila  $t = 10$  mm zadovoljavajuća za nosače 2 i 5 preliminarno usvojeni profil  $200x200x10$  se usvaja kao zadovoljavajući i koristi se u daljnjem proračunu.

### 6.2.1. Provjera progiba horizontalnog glavnog nosača pozicije 5 uslijed stalnog opterećenja

Na slici 6.9 je prikazan glavni nosač 5 opterećen težinom s maksimalnim progibom u točki C.



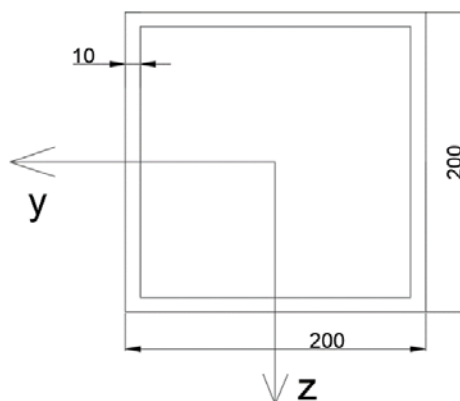
Slika 6.9 - Progib glavnog nosača 5

Odabrani poprečni presjek glavnog nosača prikazan je na slici 6.10, a njegov moment inercije iznosi:

$$I_y = I_z = 45,85 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 .$$

Odabrani materijal je S235 gdje je modul elastičnosti:

$$E = 210 \text{ GPa} .$$



Slika 6.10 - Dimenzije presjeka profila glavnog nosača

Progib elastične linije računa se prema izrazu [10]:

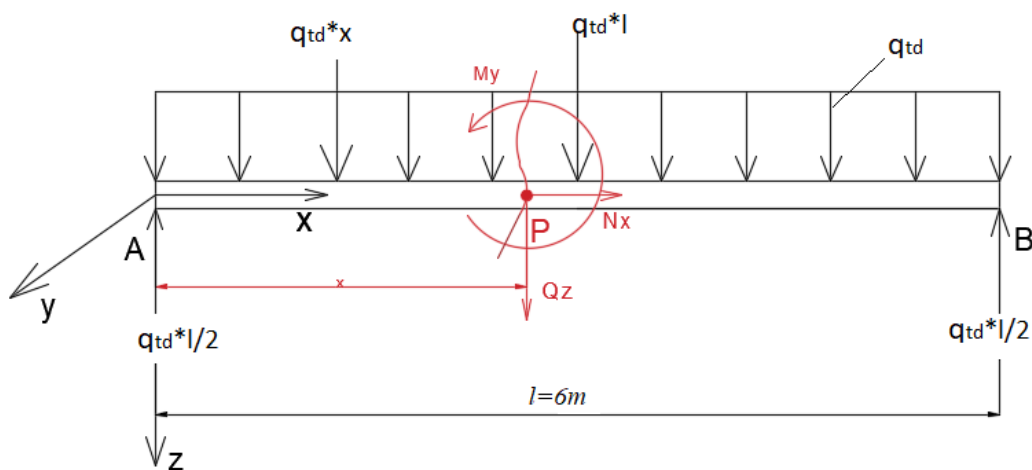
$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{M_y}{E * I_y}, \quad (6.6)$$

gdje je:

- $M_y$  - moment nastao zbog utjecaja težine,
- $E$  - modul elastičnosti materijala,
- $I_y$  - moment tromosti presjeka,
- $w$  - progib, te
- $x$  - udaljenost do presjeka.

Dok je kut zakreta elastične linije  $\beta$ :

$$\beta = -\frac{dw}{dx}. \quad (6.7)$$



Slika 6.11 - Unutrašnje sile presjeka na udaljenosti  $x$

Na slici 6.11 su prikazane unutrašnje sile za presjek na udaljenosti  $x$  od oslonca A.

Maksimalni moment dobiva se rješavanjem sume momenata oko točke P:

$$\sum M_P = 0: M_y + q_{td} * x * \frac{x}{2} - \frac{q_{td} * l}{2} * x = 0, \quad (6.8)$$

gdje je:

- $q_{td}$  - opterećenje težinom,
- $x$  - udaljenost do presjeka, te
- $l$  - duljina nosača,

pa slijedi da je maksimalni moment savijanja  $M_y$ :

$$M_y = \frac{q_{td}}{2} (l * x - x^2) \text{ Nmm} .$$

Uvrštavanjem u izraz (6.6) dolazi se do izraza za progib:

$$\frac{d^2w}{dx^2} = -\frac{M_y}{E * I_y} = -\frac{q_{td}}{2 * E * I_y} * (l * x - x^2) , \quad (6.9)$$

iz čega derivacijom izraza (6.9) slijedi:

$$\frac{dw}{dx} = -\frac{q_{td}}{2 * E * I_y} * \left[ l * \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} + C_1 \right]. \quad (6.10)$$

Daljnjom derivacijom dobiva se izraz za progib  $w$  na udaljenosti  $x$ :

$$w(x) = -\frac{q_{td}}{2 * E * I_y} * \left[ l * \frac{x^3}{6} - \frac{x^4}{12} + C_1 x + C_2 \right]. \quad (6.11)$$

Konstante integracije  $C_1$  i  $C_2$  određuju se iz rubnih uvjeta:

$$1) x = \frac{l}{2} \quad \beta_c = \left(-\frac{dw}{dx}\right)_c = 0 \quad \rightarrow \quad C_1 = \frac{l^3}{24} - \frac{l^3}{8} = \frac{l^3}{12}$$

$$2) x = 0 \quad w_A = 0 \quad \rightarrow \quad C_2 = 0 ,$$

pa slijedi da je progibna funkcija  $w = w(x)$  prema izrazu (6.11):

$$w(x) = -\frac{q_{td}}{2 * E * I_y} * \left[ l * \frac{x^3}{6} - \frac{x^4}{12} - \frac{l^3}{12} * x \right], \quad (6.12)$$

a maksimalni progib:

$$x = \frac{l}{2} \rightarrow w_c = -\frac{q_{td}}{2 * E * I_y} * \left[ \frac{l^4}{48} - \frac{l^4}{192} - \frac{l^3}{24} \right]. \quad (6.13)$$

Iz izraza (6.13) slijedi jedinstveni izraz za elastični progib u središnjoj točki nosača te se s njim dokazuje izraz :



$$w_c = \frac{5 * q * l^4}{384 * E * I_y} \leq w_{dop}, \quad (6.14)$$

gdje je:

- $q$  - kontinuirano opterećenje nosača,
- $l$  - duljina nosača,
- $I_y$  - moment tromosti presjeka nosača, te
- $E$  - modul elastičnosti,

pa je:

$$w_{max} = 4,495 \text{ mm.}$$

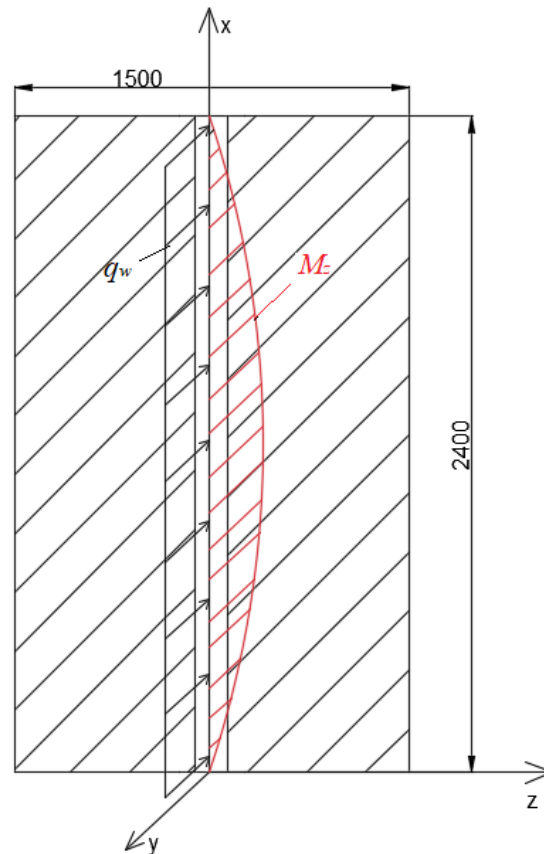
Prema eurocodeu progib mora biti manji od  $l/300$  mm:

$$w_{max} = 4,495 \text{ mm} \leq w_{dop} = \frac{l}{300} = \frac{6000}{300} = 20 \text{ mm} .$$

Usvaja se  $w_{dop} \leq 10$  mm, na zahtjev projektanta metalne konstrukcije.

### 6.3. Provjera čvrstoće vertikalnog veznog nosača

Vršni tlak koji stvara vjetar osim što opterećuje glavne horizontalne nosače opterećuje i vertikalne vezne nosače. Točnije, stvara moment koji uzrokuje savijanje nosača, stoga je potrebno provjeriti čvrstoću vertikalnih nosača. Najopterećeniji vertikalni nosač je središnji nosač koji je ovješten na nosaču 5, a razlog su najveća duljina nosača od 2400 mm, koja će sa širinom od 600 mm sa svake strane, kolika je polovica udaljenosti do sljedećeg vertikalnog nosača činiti referentnu površinu. Na slici 6.12 je prikazan središnji vertikalni nosač glavnog nosača 5 s pripadajućom referentnom površinom. U slučaju da je naprezanje nastalo uslijed savijanja manje od granice tečenja materijala zadovoljen je uvjet nosivosti.



Slika 6.12 - Vertikalni vezni nosač opterećen vjetrom

Opterećenje vjetrom za zadanu površinu iznosi:

$$q_w = q_p(z) * b = 2,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (6.15)$$

gdje je:

- $q_p(z)$  - vršni tlak vjetra (iz izraza (5.9) iznosi  $1531.24 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ ),
- $b$  - širina koju preuzima nosač pri djelovanju vjetra (1,5 m),

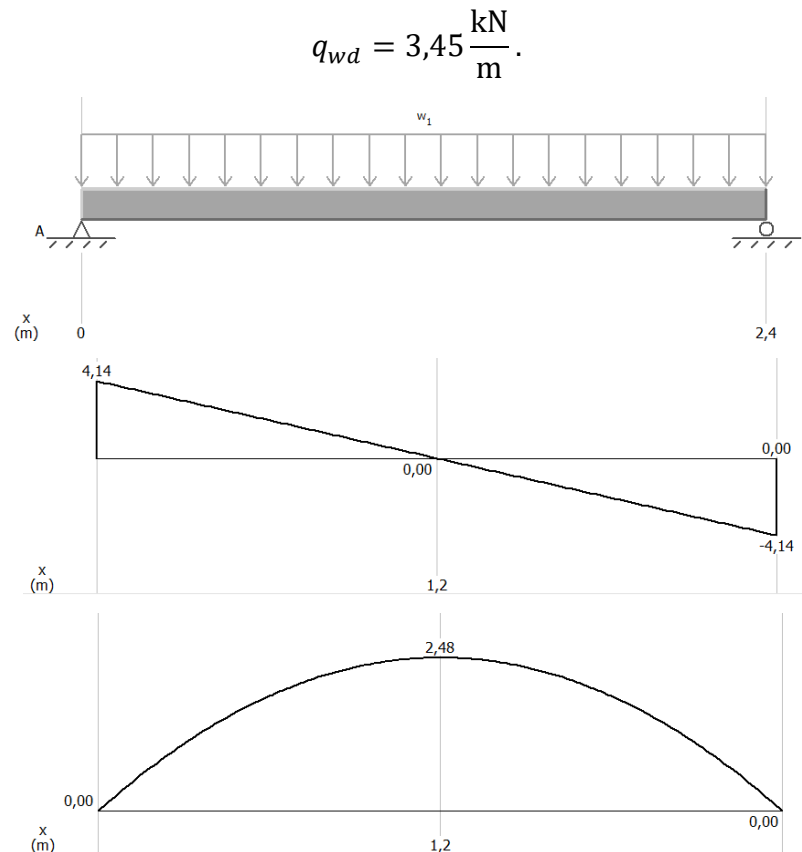
pa je:

$$q_w = 2,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Umnoženo koeficijentom sigurnosti  $\mu_f$  za promjenljiva opterećenja koji iznosi 1,5 dobije se:

$$q_{wd} = 3,45 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Na slici 6.13 su prikazani dijagrami reakcijskih sila i momenata za:



Slika 6.13 - Dijagrami sila i momenata vertikalnog nosača opterećenog vjetrom

Moment inercije za presjek 100x200x6 iznosi :  $I_Z = 17,94 * 10^6 \text{mm}^4$ .

Naprezanje na savijanje  $\sigma_s$  određuje se preko maksimalnog momenta savijanja i mora biti manje od granice tečenja materijala ( $f_{yd} = 218 \text{MPa}$ ):

$$\sigma_s = \frac{M_{zmax}}{I_Z} * y_{max} = \frac{2,48 * 10^6}{17,94 * 10^6} * 100 = 13,8 \text{MPa}, \quad (6.16)$$

gdje je:

- $M_{zmax}$  - maksimalni moment savijanja uzrokovan vjetrom (prema slici (6.13) iznosi  $2,48 * 10^6 \text{Nmm}$ ),
- $I_z$  - moment inercije presjeka 100x200x6 (iznosi  $17,94 * 10^6 \text{mm}^4$ ), te
- $y_{max}$  - maksimalna udaljenost do težišta presjeka,

pa je:

$$\sigma_s = 13,8 \text{ MPa},$$

što zadovoljava uvjet čvrstoće:

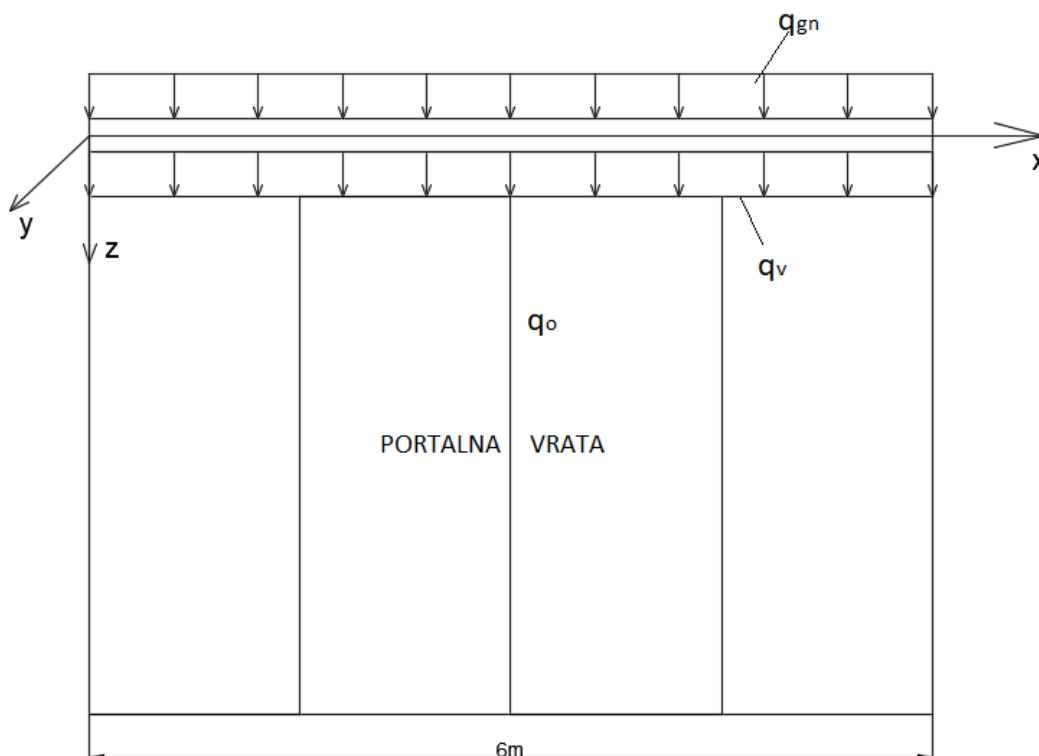
$$\sigma_s = 13,8 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}.$$

Daljnju provjera stabilnosti i izvijanja nije potrebno vršiti jer je iz prethodnog proračuna utvrđeno da je profil predimenzioniran.

#### 6.4. Provjera izbora geometrije horizontalnog glavnog nosača pozicije 1

**Os y (opterećenje uslijed djelovanja vlastite težine):**

Pri stalnom opterećenju glavni nosač 1 je najopterećeniji nosač konstrukcije. Viseća vrata portala čiji je okvir izrađen od čelika, te obložen oblogama spomenutim u prethodnim poglavljima stvaraju najveći izazov za konstrukciju sa aspekta stalnog opterećenja stoga je na nosač postavljena ukruta L profila koja ima zadatak smanjiti progib i povećati čvrstoću konstrukcije. Na slici 6.14 je prikazan glavni nosač 1 opterećen težinom.



Slika 6.14 - Glavni nosač 1 opterećen težinom

Kontinuirano opterećenje glavnog nosača 1 zbog utjecaja težine dobije se izrazom:

$$q_t = q_{gn} + q_o + q_v \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (6.17)$$

gdje je:  $q_{gn}$ - opterećenje glavnog nosača zbog vlastite težine i određuje se izrazom:

$$q_{gn} = q_{gn\Box} + q_{gn\perp}, \quad (6.18)$$

gdje je:

- $q_{gn\Box}$  - opterećenje vlastitom težinom glavnog nosača, te
- $q_{gn\perp}$  - opterećenje vlastitom težinom L ukrute.

Za glavni nosač profila 200x200x10 mm slijedi da je njegova duljinska masa  $57,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ ,

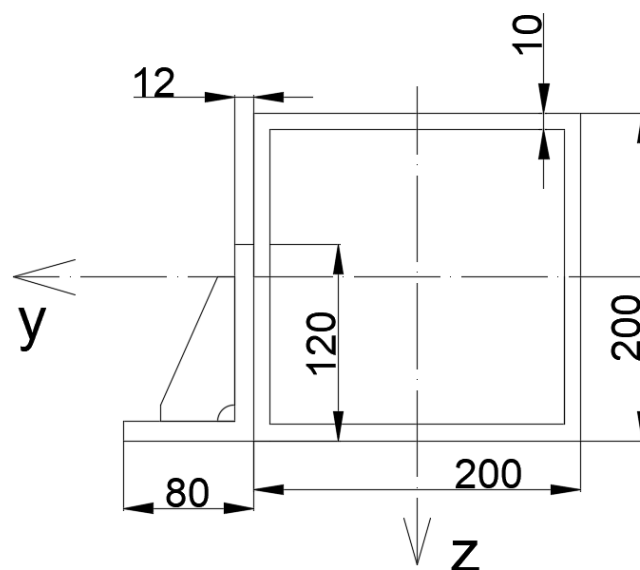
pa je opterećenje vlastitom težinom  $q_{gn\Box}$  :

$$q_{gn\Box} = 0,561 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Za L ukrutu profila 80x120x12 mm se dobije duljinska masa  $17,8 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$ ,

pa je opterećenje vlastitom težinom  $q_{gn\perp}$  :

$$q_{gn\perp} = 0,175 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$



Slika 6.15 - Presjek profila glavnog nosača 1 sa L ukrutom

Na slici 6.15 je prikazan presjek profila glavnog nosača 1 uz koji je postavljena ukruta L profila s ciljem da se smanji progib nosača.

Uvrštavanjem ovih iznosa u izraz (6.18) dobije se opterećenje glavnog nosača zbog vlastite težine:

$$q_{gn} = 0,736 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Iz izraza (5.2) je poznato opterećenje oblogom:

$$q_o = (7,06 + 16,8 + 16,8) * h_{ref} * g ,$$

gdje je:  $h_{ref} = 4,6$  m iz čega slijedi iznos opterećenja oblogom na glavni nosač 1:

$$q_o = 1,835 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Opterećenje na nosač vratima u što spada čelični okvir, britvele i okov određuje se izrazom:

$$q_v = \frac{m_v * g}{l} \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (6.19)$$

gdje je:

- $m_v$ - masa vrata i iznosi:

$$m_v = 4 * 100 \text{ kg} = 400 \text{ kg} ,$$

gdje je : 4 - broj krila vrata,

- $l$  - duljina vrata (iznosi 6 m),

pa slijedi:

$$q_v = 0,645 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Uvrštavanjem dobivenih iznosa za pojedina opterećenja u izraz (6.17) dobije se iznos ukupnog stalnog opterećenja na glavni nosač 1:

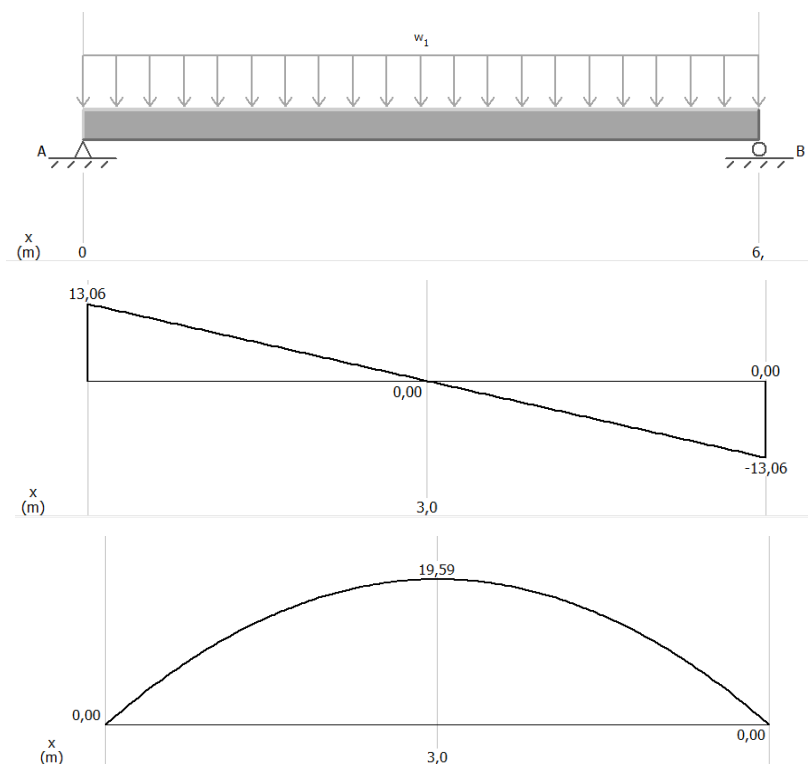
$$q_t = 3,225 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Umnoženo s koeficijentom sigurnosti za stalna opterećenja  $\mu_f$  koji iznosi 1.35:

$$q_{td} = q_t * \mu_f = 4,354 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$

Na slici 6.16 su prikazani dijagrami reakcijskih sila i momenata za:

$$q_{td} = 4,354 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$



Slika 6.16 - Dijagrami sila i momenata nosača 1 opterećenog težinom

Za usvojenu geometriju kvadratnog profila 200x200x10 mm potrebno je provjeriti čvrstoću i krutost, a zatim dodati i ukrutu kako bi se prikazao njen doprinos stabilnosti i nosivosti konstrukcije.

Čvrstoća se provjerava prema izrazu :

$$\sigma_{max} = \frac{M_{ymax}}{I_y} * z_{max} \leq f_{yd} \text{MPa}, \quad (6.20)$$

pa je:

$$\sigma_{max} = 42,73 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa}.$$

Slijedi provjera krutosti prema izrazu (6.14):

$$w_{max} = \frac{5 * q_{td} * l^4}{384 * E * I_y} \leq w_{dop} \text{ mm},$$

pa je:

$$w_{max} = 7,631 \text{ mm} \leq w_{dop} = 10 \text{ mm}$$

Kada se doda ukruta profila L80x120x12 mm (uz zanemarene glavne osi profila):

-moment inercije  $I_y$  se povećava:

$$I_y = I_{y\Box} + I_{yL} = 45,85 * 10^6 + 3,256 * 10^6, \quad (6.21)$$

pa je:

$$I_y = 49,106 * 10^6 \text{ mm}^4.$$

Uvrštavanjem u izraz (6.20) za čvrstoću dobije se preliminarno:

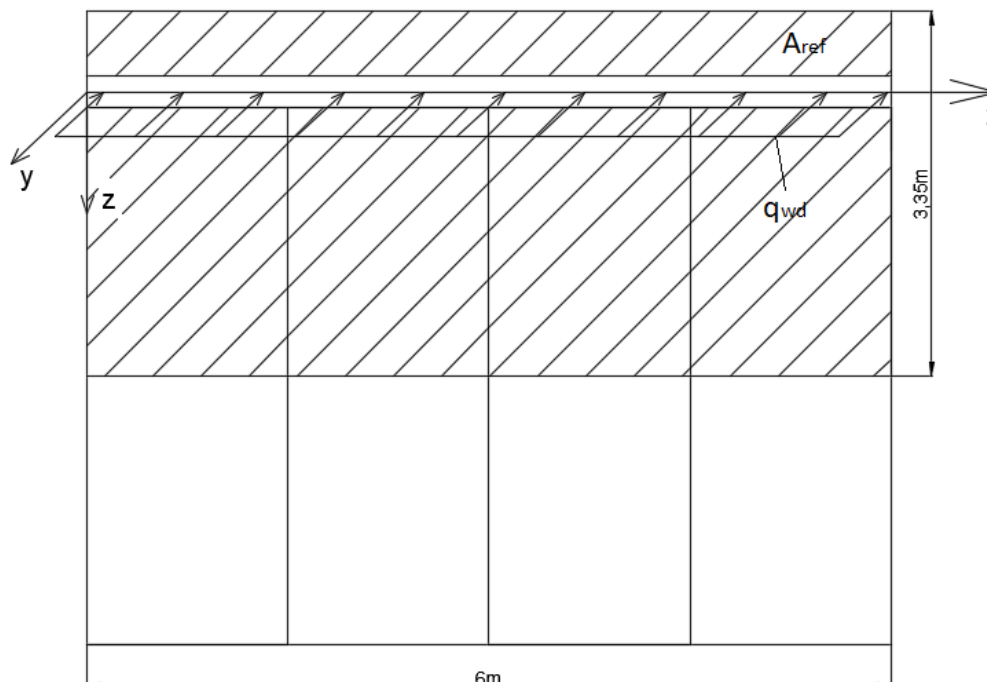
$$\sigma_{max} = 39,89 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa},$$

te u izraz (6.14) za kutost:

$$w_{max} = 7,125 \text{ mm} \leq w_{dop} = 10 \text{ mm}.$$

Iz rezultata za čvrstoću i krutost vidljivo je da ukruta profila L80x120x12 mm povećava nosivost i stabilnost glavnog nosača 1 za oko 6,5%.

**Os z (opterećenje uslijed djelovanja vjetra):**



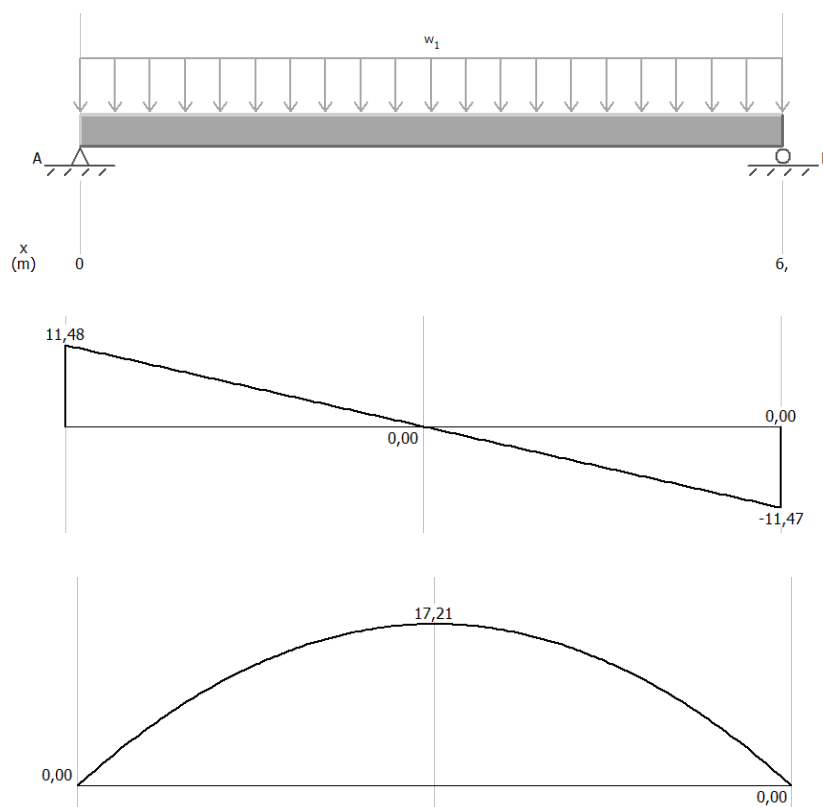
Slika 6.17 - Glavni nosač 1 opterećen vjetrom



Potrebno je provjeriti čvrstoću glavnog nosača 1 opterećenog stalnim opterećenjem i promjenljivim opterećenjem (slika 6.17). Prethodno je spomenuto da će opterećenje uslijed djelovanja vjetra biti smanjeno za 50% uz pomoć dodatnog horizontalnog nosača 0, a sada se navedeno primjenjuje na proračun.

Na slici 6.18 su prikazani dijagrami reakcijskih sila i momenata za:

$$q_{wd} = 7,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}}.$$



Slika 6.18 - Dijagrami sila i momenata nosača 1 opterećenog vjetrom

Potrebno je provjeriti ekvivalentno naprezanje za opterećenje vjetrom i težinom:

$$\sigma_{ekv} = \frac{M_s}{W} \leq f_{y,d}, \quad (6.22)$$

gdje je:

- $M_s$  - ekvivalentni moment,
- $W$  - moment otpora presjeka, i
- $f_{y,d}$  - proračunska granica tečenja materijala (218 MPa).

Prema izrazu (6.5) ekvivalentni moment:

$$M_s = \sqrt{M_{y_{max}}^2 + M_{z_{max}}^2} \text{ Nmm} ,$$

pa je:

$$M_s = 26,07 * 10^6 \text{ Nmm} .$$

Uvrštavanjem dobivenog u izraz za ekvivalentno naprezanje (6.22) dobije se:

$$\sigma_{ekv} = 56,86 \text{ MPa} \leq f_{yd} = 218 \text{ MPa} .$$

## 6.5. Provjera progiba horizontalnih glavnih nosača

### 6.5.1. Provjera progiba zbog stalnog opterećenja

#### Provjera krutosti glavnog nosača 2

Iz uvjeta krutosti maksimalni dopušteni progib nosača  $w_{max}$  prema izrazu (6.14) je:

$$w_{max} = \frac{5 * q_{td} * l^4}{384 * I_y * E} \leq w_{dop} = 10 \text{ mm} ,$$

pa je:

$$w_{max} = 4,2 \text{ mm} < 10 \text{ mm} .$$

#### Provjera krutosti glavnog nosača 5

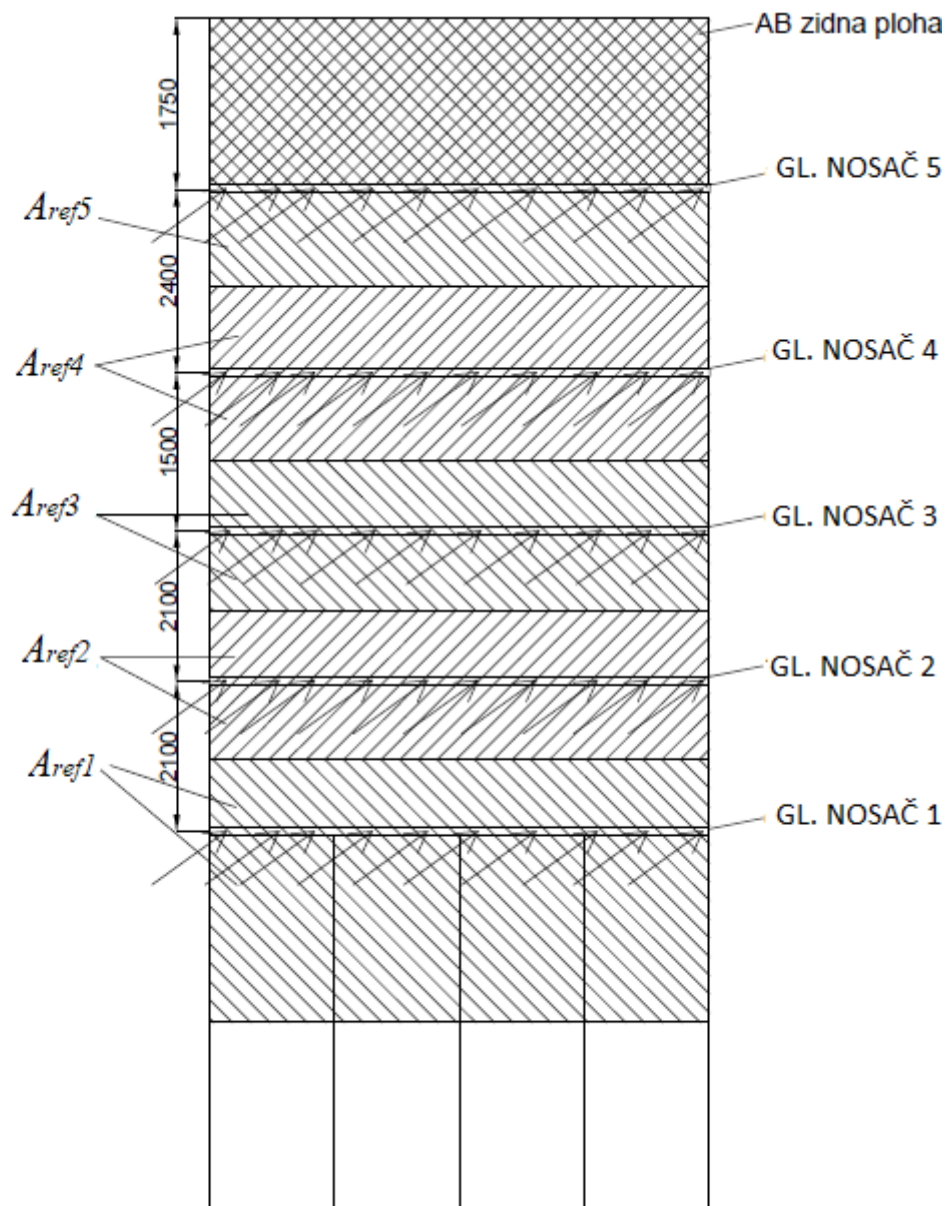
Uvjet krutosti prema izrazu (6.14):

$$w_{max} = \frac{5 * q_{td} * l^4}{384 * I_y * E} \leq w_{dop} = 10 \text{ mm} ,$$

pa je:

$$w_{max} = 4,5 \text{ mm} < 10 \text{ mm} .$$

### 6.5.2. Provjera progiba zbog promjenljivog opterećenja



Slika 6.19 - Podjela konstrukcije na referentne površine opterećene vjetrom

Na slici 6.19 prikazani su glavni horizontalni nosači opterećeni promjenljivim opterećenjem, te njihove referentne površine .

U nastavku je prikazan proračun progiba za pojedine nosače.

Progibi pojedinih nosača prikazani su u *tablici 6.1* i dobivaju se sljedećim izrazima:

-opterećenje vjetrom na površinu  $q_w$ :

$$q_w = q_{p(z)} * z_{ref} = 1531,24 * z_{ref} \frac{\text{N}}{\text{m}}, \quad (6.23)$$

gdje je:

- $q_{p(z)}$  - vršni tlak vjetra, te
- $z_{ref}$  - referentna visina,

-kontinuirano stvarno opterećenje nosača  $q_{wd}$ :

$$q_{wd} = q_w * \mu_f \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \quad (6.24)$$

gdje je:  $\mu_f$  - koeficijent sigurnosti za promjenljivo opterećenje (iznosi 1,5),

-maksimalni dopušteni progib  $w_{max}$  prema izrazu (6.14):

$$w_{max} = \frac{5 * q_{wd} * l^4}{384 * I_z * E} \text{ mm},$$

-modul elastičnosti materijala  $E$ :

$$E = 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

-moment tromosti profila  $I_y$ :

$$I_y = 45,85 * 10^6 \text{ mm}^4, \text{ te}$$

-duljina nosača:

$$l = 6 \text{ m}.$$

*Tablica 6.1 - Progibi nosača opterećenih vjetrom*

Nosač br.	Referent na visina $z_{ref}$ [m]	Opterećenje vjetrom na površinu $q_w$ [kN/m]	Kontinuirano opterećenje $q$ [kN/m]	Progib $w$ [mm]
1	3,35	2,55	3,825	6,7
2	2,1	3,2	4,8	8,4
3	1,8	2,75	4,125	7,2
4	1,95	2,98	4,47	7,83
5	1,2	1,83	2,745	4,8

Ekvivalentni progib uslijed stalnog i promjenljivog opterećenja nije potrebno računati jer je iz dosadašnjih proračuna vidljivo da je u granicama dozvoljenim uvjetom krutosti.

Iz *tablice 5.4* je vidljivo da bi glavni nosač 1, ukoliko ne bi postojao dodatni horizontalni nosač (nosač 0) u njegovoj horizontalnoj ravnini prešao granicu dopuštenog progiba od 10 mm, međutim valja napomenuti kako je u proračunu pretpostavljeno da će opterećenje vjetrom preuzimati samo horizontalni nosači dok će u stvarnosti dio opterećenja preuzimati i vertikalni nosači tako da će progib na svim horizontalnim nosačima biti nešto manji.

Na *slici 6.20* prikazani su horizontalni nosači 1 i 0 jednakih profila poprečnog presjeka i duljina, koji se nalaze u istoj horizontalnoj ravnini a povezani su nosačima profila 60x60x5 mm. Takva veza osigurava potrebnu nosivost i krutost donjeg dijela konstrukcije te sada konstrukcija zadovoljava sve uvjete krutosti.



*Slika 6.20 - Pomoćna konstrukcija glavnog nosača 1 [2]*

## 7. Tehnologija oblikovanja i izvedbe konstrukcije portala bazilike

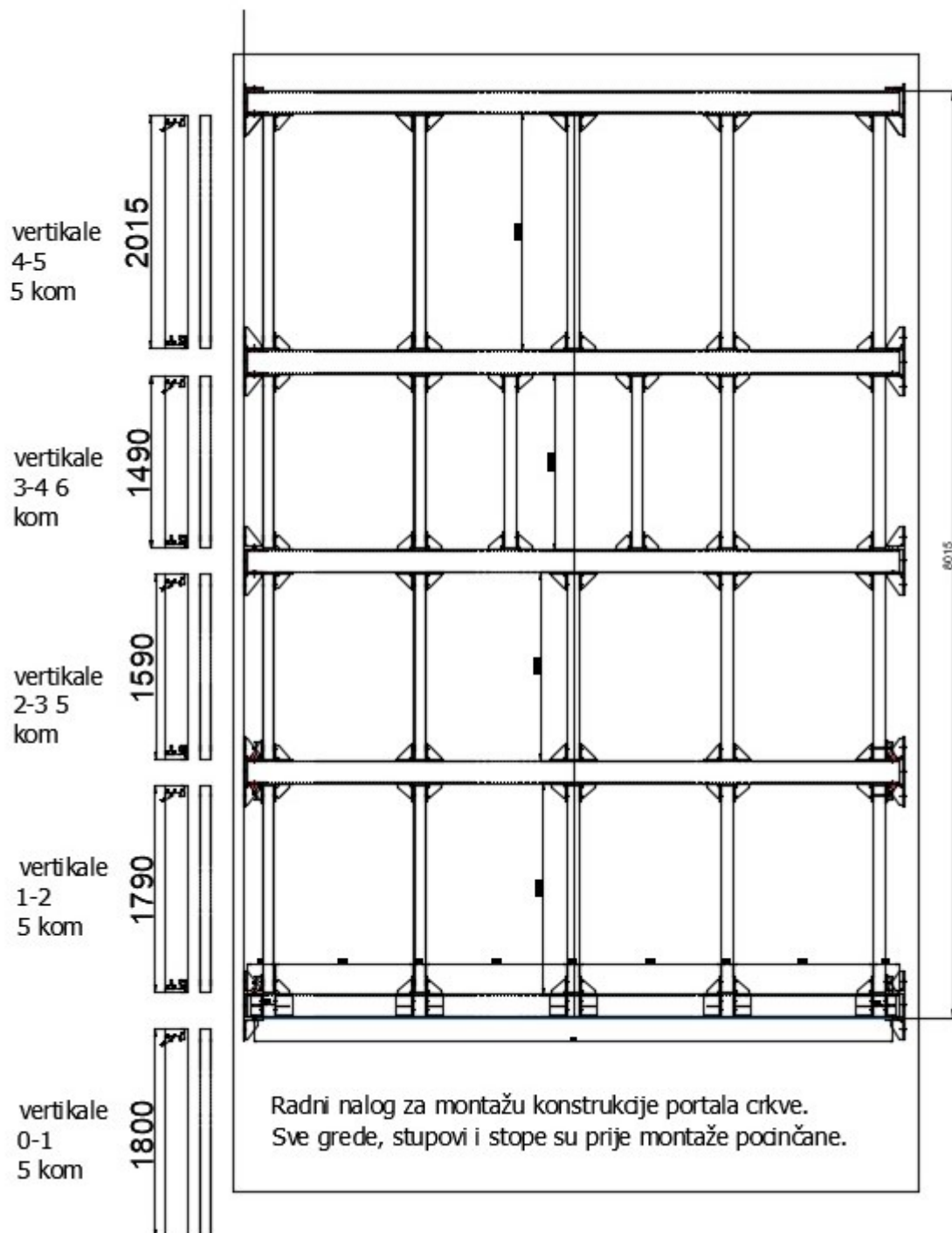
Tehnologija izvedbe u pravilu opisuje način i proces izrade neke konstrukcije ili konstrukcijskog elementa, uz popratne informacije o alatima i procesima obrade koji se koriste. U ovom poglavlju je opisana tehnologija izvedbe metalne konstrukcije portala bazilike u Solinu, a ona obuhvaća:

- izradu tehnološki oblikovanih fiksnih i pokretnih oslonaca,
- rešetkastu konstrukciju i način na koji ona od profiliranih cijevi postaje rešetka,
- središnju termo izolacijsku oblogu,
- unutrašnju dekorativnu oblogu,
- vanjsku dekorativnu oblogu (koja će biti detaljnije objašnjena),
- estetsku komponentu tj. motiv koji će se nalaziti na vanjskoj dekorativnoj oblozi, te će biti opisan način izrade motiva, kao i
- opis materijala konstrukcije i obloge te njihova mehanička svojstva što će biti popraćeno potvrdama proizvođača.

Izvedba metalne konstrukcije portala počinje s nabavom limova i profiliranih nosača materijala S235J0. Nakon što su dostavljeni, nosači se pomoću plazma rezanja pod vodom režu na potrebne dimenzije, te se izrađuju oslonci za horizontalne nosače (*slika 7.10*) i stope za vertikalne nosače. Stope se zavaruju na horizontalne nosače nakon čega slijedi antikorozivna zaštita svih dijelova konstrukcije. Antikorozivna zaštita koja štiti konstrukciju od utjecaja atmosferskih uvjeta, mora biti izvršena na svakom, pa i najmanjem dijelu konstrukcije, a postiže se vrućim cinčanjem.

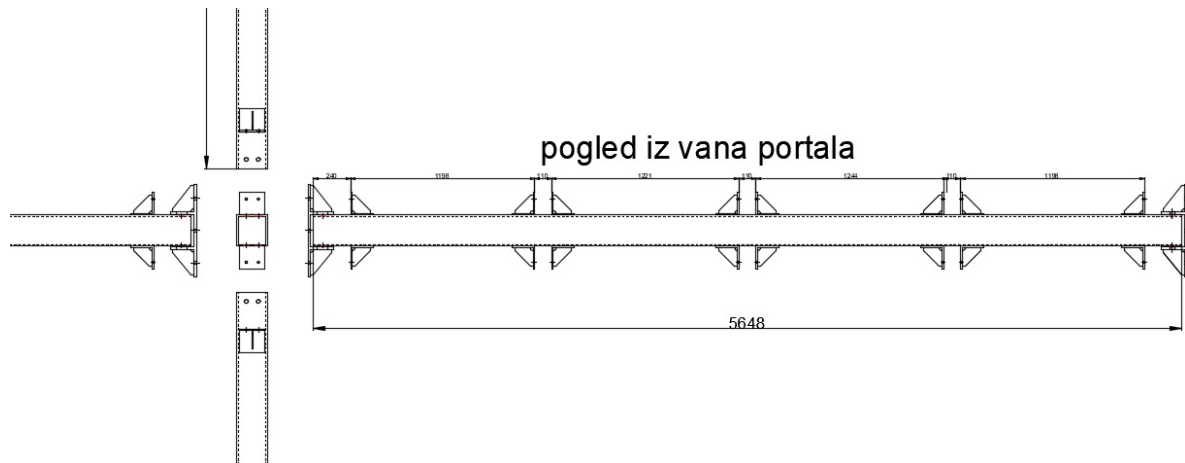
Sljedeći korak u izvedbi je montaža za koju je radni nalog prikazan na *slici 7.1*. Prvi dijelovi konstrukcije koji se montiraju su oslonci horizontalnih nosača koji se pričvršćuju na AB plohu pomoću vijaka M16 klase čvrstoće 8.8 za koje je prethodno proračunato da mogu izdržati sva naprezanja nastala pri eksploatacijskim uvjetima (*slika 7.11, 7.12*). Slijedi montaža horizontalnih nosača koji se podižu pomoću dizalice te montiraju i pričvršćuju na oslonce. Horizontalni nosači se montiraju od najvišeg prema najnižem, odnosno nosač 5 se prvi montira, a nosač 1 zadnji zbog specifičnosti oblika dizalice. Za formiranje kompletne konstrukcije potrebno je još izvršiti montažu vertikalnih veznih nosača. Vertikalni vezni

nosači se pričvršćuju vijcima M14 klase čvrstoće 8.8 prethodno proračunatima da izdrže sva naprezanja nastala pri eksploatacijskim uvjetima.

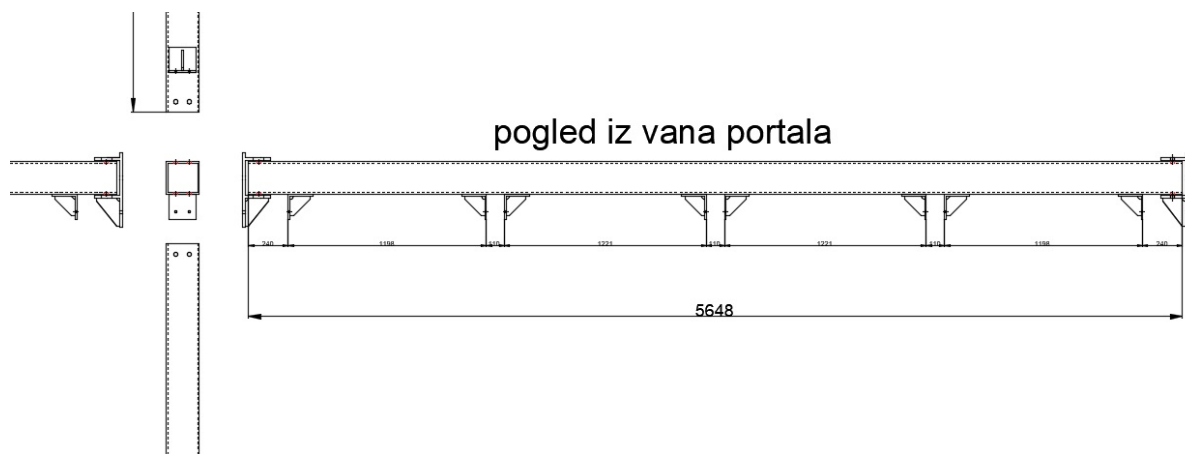


Slika 7.1 - Radni nalog za montažu konstrukcije portala bazilike [2]

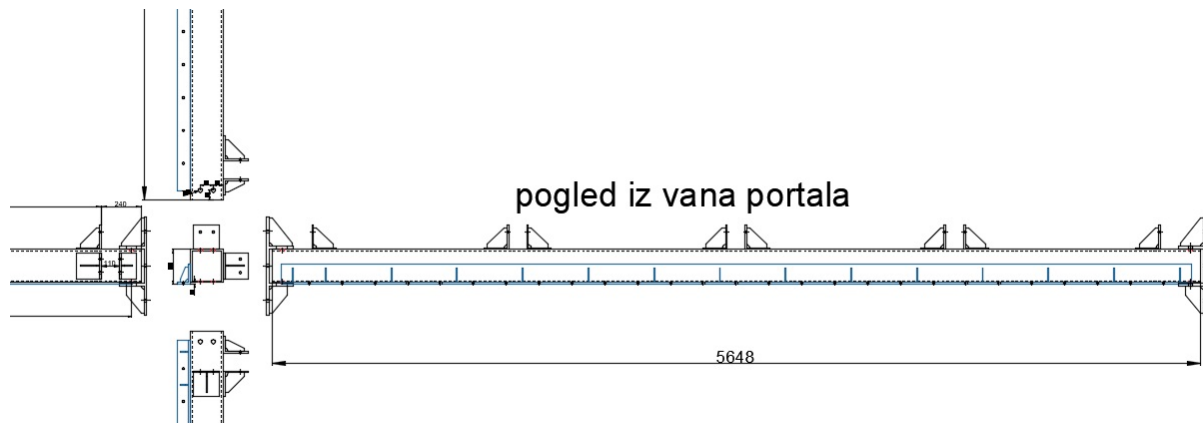
Na slikama 7.2, 7.3, 7.4 i 7.5 su prikazani detalji pogleda iz vana za nosače 2, 5, 1 i 0.



Slika 7.2 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 2 [2]

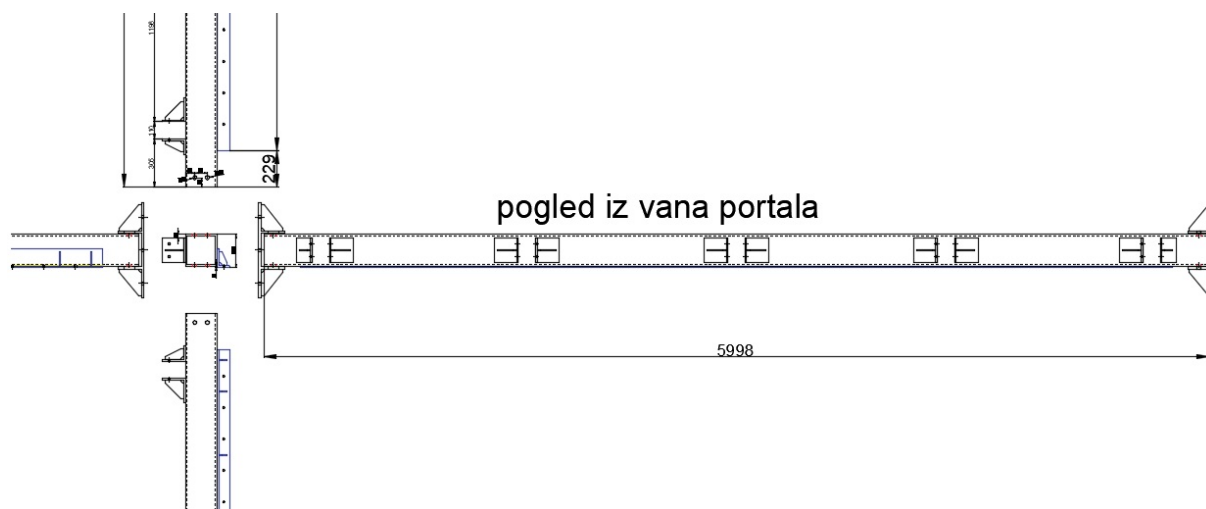


Slika 7.3 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 5 [2]



Slika 7.4 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 1 [2]





Slika 7.5 - Detalj pogleda iz vana portala za nosač 0 [2]

## 7.1. Oslonci nosive metalne konstrukcije

U svakom statičkom proračunu se pojavljuju oslonci. U jednostavnom statičkom proračunu u većini slučajeva se za neki nosač pretpostavlja da je oslonjen na jedan fiksni i jedan pokretni oslonac (što ne mora biti nužno). Fiksnom osloncu je onemogućeno gibanje po dvije osi tako da se u njemu javljaju i unutrašnje reakcije po dvije osi dok je pokretnom onemogućeno gibanje samo po jednoj osi, dok mu se po drugoj osi omogućuje pomicanje u proračunatim granicama.

Na slici 7.6 prikazanje jednostavno oslonjen nosač.



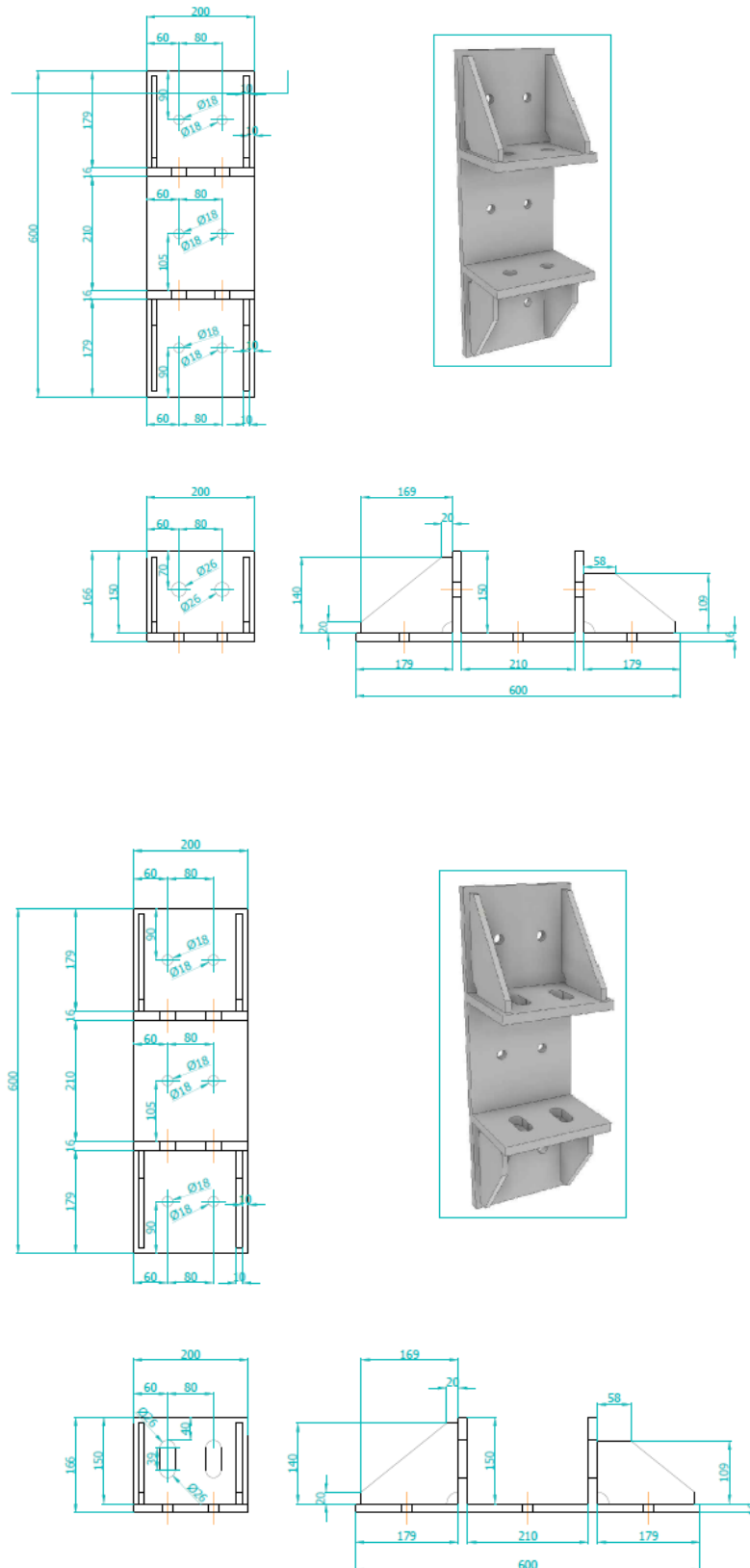
Slika 7.6 - Jednostavno oslonjen nosač

Konstrukcija portala bazilike je također jednostavno oslonjena sa jednim fiksnim jednim pokretnim osloncem na svakom od pet horizontalnih nosača. Oslonci su tehnološki oblikovani i proračunati prema vlastitim reakcijskim silama. Materijal oslonaca je kao i kod konstrukcije toplo valjani čelik S235J0 mehaničkih karakteristika granice plastičnosti  $f_{yk} = 240$  MPa, te vlačne čvrstoće  $f_{uk} = 360$  MPa. Površinska zaštita je vruće cinčanje i zadatak joj je zaštititi površinu oslonaca, ali i vijaka koji su sastavni dio i pričvršćuju oslonac od korozije i atmosferskih utjecaja a što bi moglo direktno utjecati na čvrstoću konstrukcije.

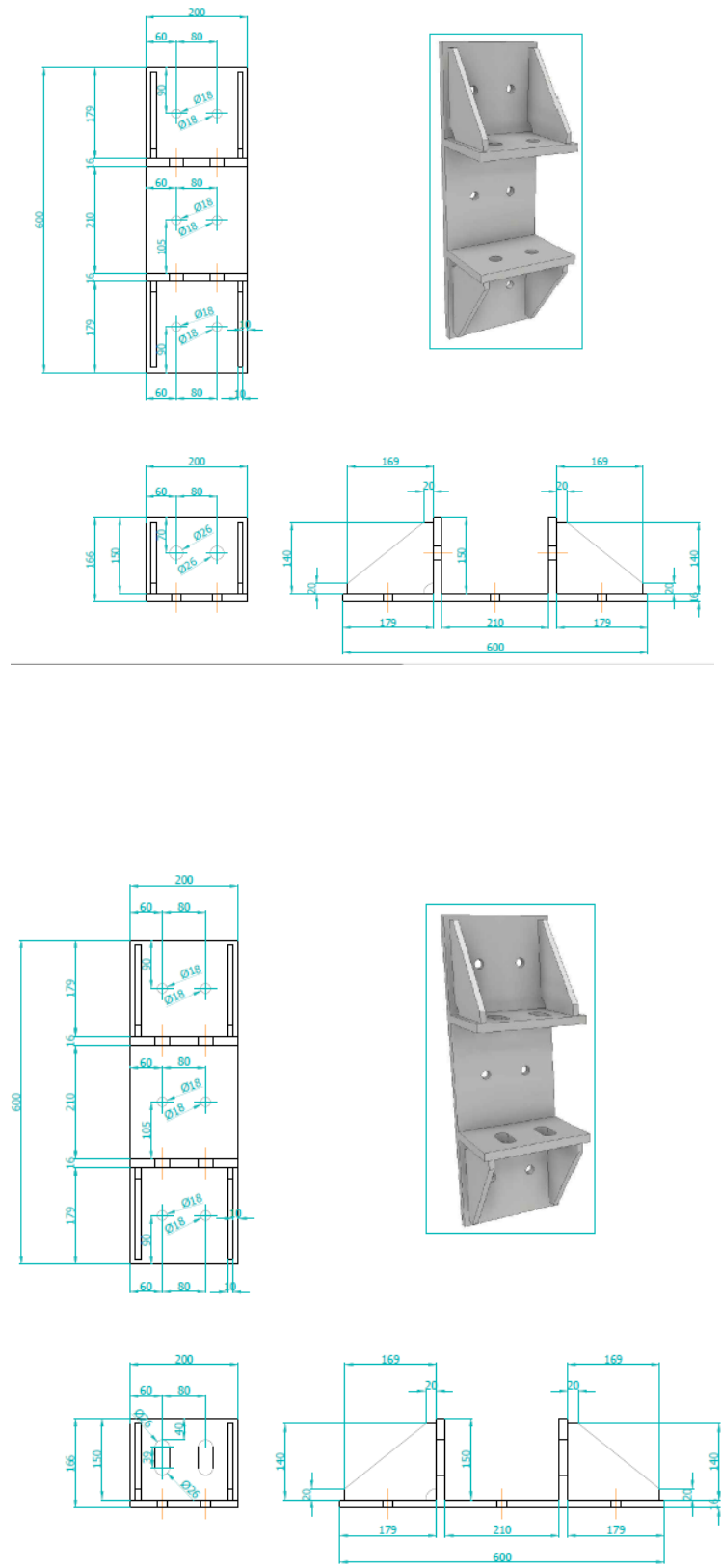
Oslonci su dio konstrukcije koji se prvi postavlja tj. montira na objekt. Pričvršćuju se za armirano betonsku plohu pomoću prethodno proračunatih vijaka, u ovom slučaju M16 k.č. 8.8.

Već je spomenuto da će konstrukcija sadržavati dvije vrste oslonaca, fiksne i pokretne. Sami nazivi govore o njihovim ulogama, fiksni oslonac potpuno onemogućava kretanje nosaču na jednoj strani, dok na drugoj strani pokretni oslonac to omogućava u aksijalnom smjeru. Razlog dopuštanja ograničenog „kretanja“ nosača na jednom osloncu je moguća dilatacija, uslijed koje bi se mogla stvoriti dodatna naprezanja koja bi ugrozila čvrstoću nosača i konstrukcije. Pomicanje nosača se onemogućuje pomoću svornjaka koji se nakon što se nosač montira na oslonac ubaci kroz rupe na osloncu i prethodno probušene rupe na nosaču te ju

tako fiksira. Isto vrijedi i za pokretni oslonac ali sa razlikom da pokretni oslonac umjesto obične ima tzv. longo rupu koja je proračunate duljine i ona omogućava širenje nosača.



Slika 7.7 - Oslonci glavnog nosača 1 [2]



Slika 7.8 - Oslonci glavnih nosača 2,3,4 [2]



Na slikama 7.7, 7.8 i 7.9 su prikazane 3 vrste oslonaca koji se razlikuju samo po malim preinakama u izvedbi zbog položaja na kojima se nalaze. Prva vrsta ima skraćenu „ukrutu“ zbog prihvata obloge dok je trećoj vrsti odrezan gornji dio zbog AB plohe na koju se naslanja. Svi oslonci su jednake nosivosti



*Slika 7.10 - Oslonci nosive konstrukcije u izradi*



*Slika 7.11 - Fiksni oslonac glavnog nosača pričvršćen za AB plohu*



*Slika 7.12 - Pokretni oslonac glavnog nosača pričvršćen za AB plohu*

## **7.2. Izvođenje nosive metalne konstrukcije**

Nosivu konstrukciju portala bazilike čine horizontalni nosači profila 200x200x10 mm duljine 6 m i vertikalni nosači profila 100x200x6 mm raznih duljina ovisno o razmaku između nosača.

Prvi korak pri izradi konstrukcije je zavarivanje stopa za prihvat vertikalnih na horizontalne nosače. Navedene stope su prethodno proćunate i tehnološki oblikovane prema silama u štapovima i one će biti spojnice između horizontalnih i vertikalnih nosača te ujedno čine i jedine zavarene spojeve na konstrukciji. Kako je površinska zaštita cijele konstrukcije vruće cinćanje svi daljnji spojevi su vijćani jer je zavarivanje ćelika onemogućeno zbog niskog tališta cinka.

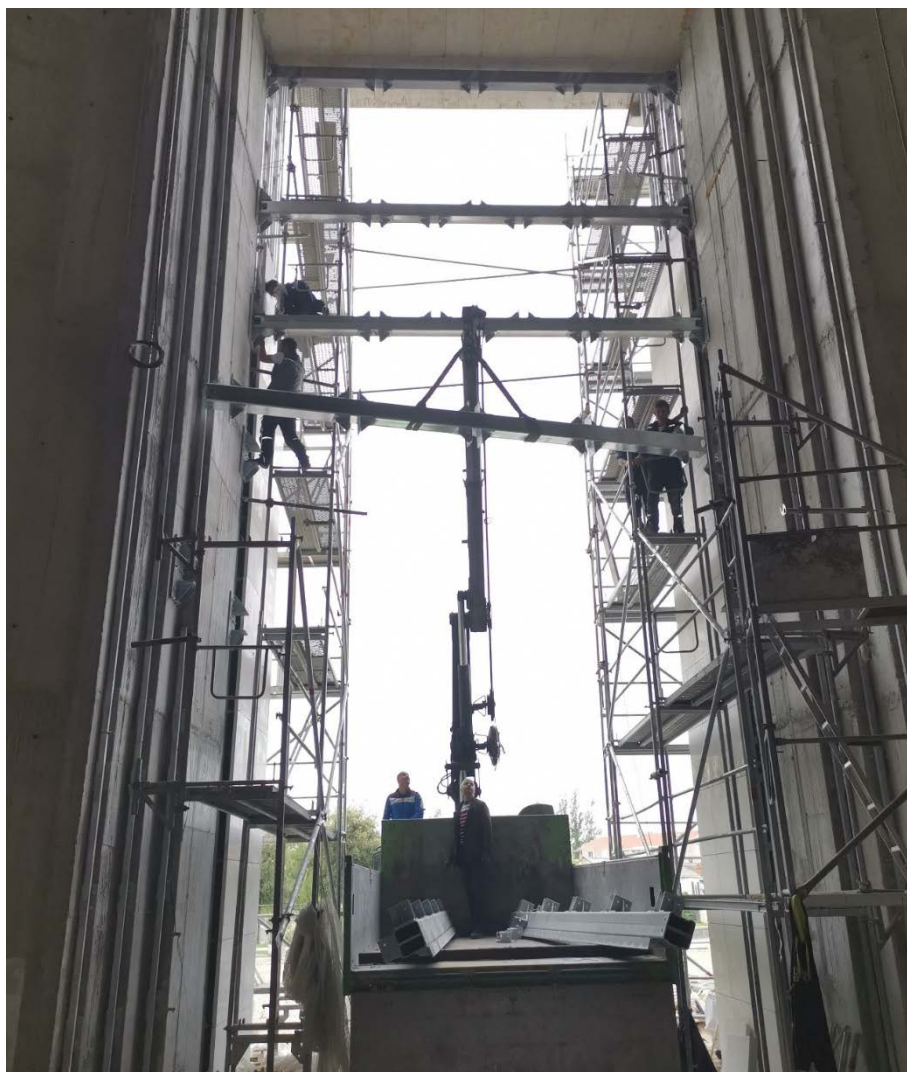


*Slika 7.13 - Spoj vertikalnog i horizontalnog nosača*

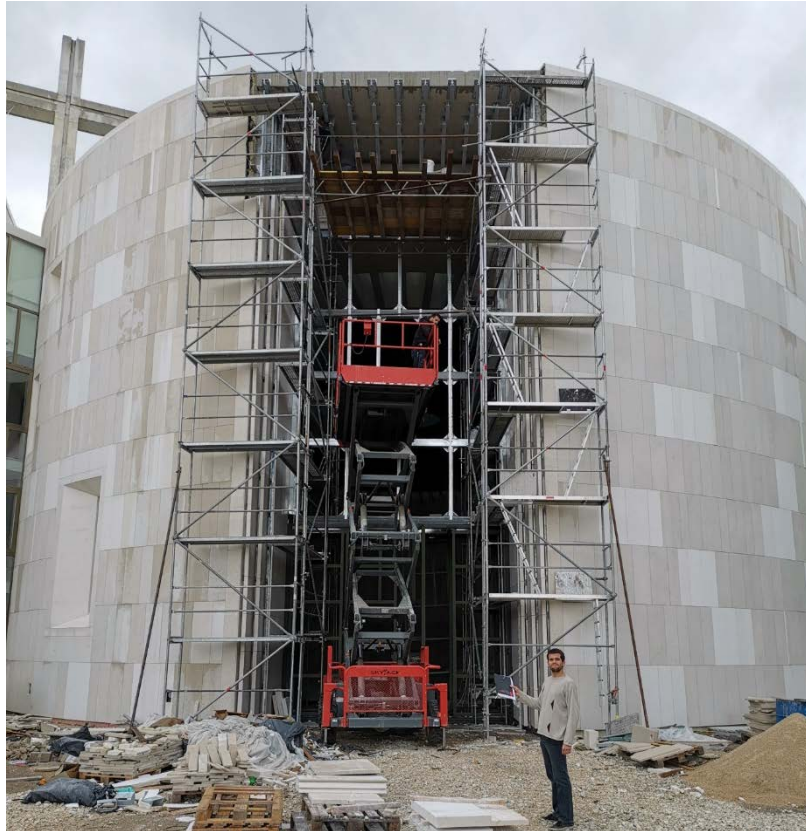
Horizontalni nosači se prvi montiraju tj. pričvršćuju za oslonce (*slika 7.14*) kako je prethodno objašnjeno nakon čega slijedi montaža vertikalnih nosača. Između svakog para nosača je postavljeno 5 vertikalnih nosača na među osnom razmaku od 1500 mm s izuzetkom za nosače 3 i 4 između kojih su umjesto središnjeg vertikalnog nosača postavljena dva dodatna vertikalna nosača na razmaku po 600 mm od simetrale.

Vertikalni nosači se vijcima potrebne čvrstoće, u ovom slučaju M14 k.č. 8.8 montiraju u hvatišta, tj. čvorišta koja također imaju ulogu oslonaca (*slika 7.13, 7.15*). Dakle, vertikalni nosači se postavljaju tako da su ovješeni na gornje horizontalne nosače čime se postiže rasterećenje glavnog nosača 1 koji je najopterećeniji zbog težine vrata bazilike koja nosi. Slijedi da je kod svakog vertikalnog nosača gornji oslonac fiksni, dok je donji oslonac pokretni sa prethodno proračunatom longo rupom koja ostavlja dovoljno prostora za dilataciju ili toplinsko širenje. Ovaj način povezivanja konstrukcije donosi još jednu prednost, a to je da je postavljanjem vertikalnih štapova na fiksne i pokretne oslonce potpuno izbjegnuto izvijanje štapova.





*Slika 7.14- Montaža glavnih horizontalnih nosača*



*Slika 7.15 - Montaža vertikalnih veznih nosača*



*Slika 7.16 - Spoj glavnih horizontalnih nosača 1 i 0 u horizontalnoj ravnini*

Na slici 7.16 prikazan je spoj glavnih horizontalnih nosača 1 i 0 u horizontalnoj ravnini, čime je postignuto rasterećenje glavnog nosača 1 na utjecaj vjetra za 50%.





*Slika 7.17 - Završena nosiva konstrukcija portala bazilike*

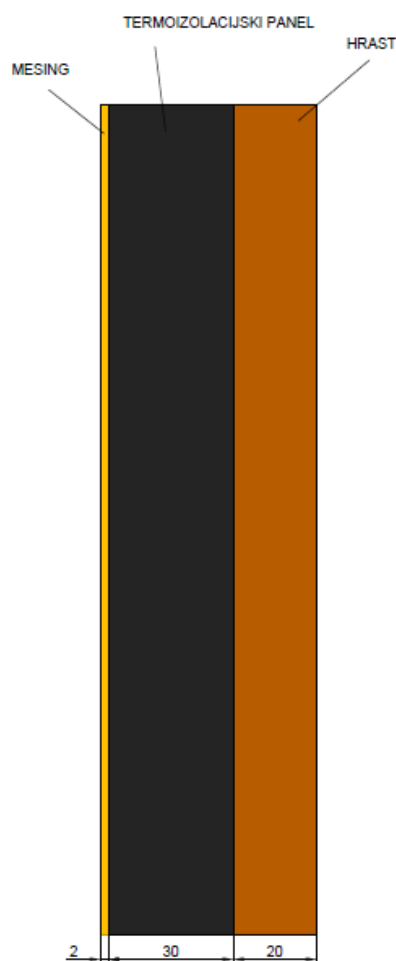
Na *slici 7.17* je prikazana završena nosiva konstrukcija portala bazilike.

## 7.3. Obloge konstrukcije portala

### 7.3.1. Središnja termo izolacijska obloga

Obloga konstrukcije portala bazilike, kao što je prikazano na *slici 7.18* sastoji se od 3 sloja:

- središnje termoizolacijske obloge debljine 30 mm koja je obložena čelikom debljine 0,4 mm sa svake strane,
- unutrašnje dekorativne obloge debljine 20 mm i
- vanjske dekorativne obloge debljine 2 mm.

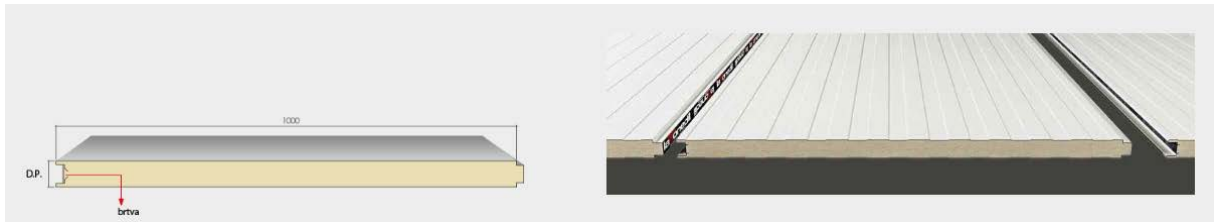


*Slika 7.18 - Presjek i debljina obloge*

Dobra termoizolacija smanjuje toplinske gubitke zimi, sprječava pregrijavanje prostora ljeti te štiti konstrukciju od vanjskih uvjeta i jakih temperaturnih naprezanja te ujedno i štedi

energiju. Suvremeni zatjevi energetske učinkovitosti sve više dobivaju na značenju stoga je termoizolacija važan dio svake građevine.

Na portalu bazilike je korištena termoizolacijska obloga „Izozid“ zidni panel izoforma. Izozid je ravni samonoseći panel pogodan za izgradnju montažnih zidova, montažnih baraka, rashladnih komora, stropova i sl. te je idealan za projekte koji zahtijevaju lagan i čvrst izolacijski proizvod kao što je ovdje slučaj. Paneli su prikazani na slici 7.19.



Slika 7.19 - Termo izolacijski panel izozid izoforma [5]

### 7.3.2. Unutrašnja dekorativna obloga iz hrasta

Unutrašnja dekorativna obloga će biti izrađena iz panel ploča od masivnog hrasta  $\rho = 840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  (slika 7.21)

Na slici 7.20 je prikazana vizualizacija unutrašnje dekorativne obloge iz hrasta ukrašena sakralnim motivom.



Slika 7.20 - Vizualizacija unutrašnje dekorativne obloge iz hrasta [2]





*Slika 7.21 - Panel ploča od hrasta [7]*

### **7.3.3. Vanjska dekorativna obloga iz legure mesinga**

Vanjska dekorativna obloga konstrukcije portala je s aspekta dizajna najvažniji dio konstrukcije. Odabir odgovarajućeg materijala te odabir i način izvedbe motiva kojim će obloga biti ukrašena kao estetskom komponentom su dva najvažnija faktora koja u ovom slučaju čine dobar dizajn, a ujedno i cijelom objektu daju vizualni identitet. Izrada dekorativne limene obloge je završna faza izrade cijele konstrukcije. Obloga će biti izložena raznim atmosferskim i vremenskim uvjetima stoga je ključno odabrati materijal koji može ispuniti te zahtjeve. U dogovoru sa investitorom odlučeno je da se kao materijal vanjske dekorativne obloge odabire mesing.

Mesing je dvokomponentna legura bakra i cinka, od kojih dominira bakar, uz mogućnost sadržavanja malih količina drugih metala. Otporan je na koroziju te je tvrdi od samog bakra i

samog cinka dok je mekši od bronce zbog čega se lakše obrađuje. Povoljna svojstva mesinga su posljedica njegove kristalne strukture i fine mikrostrukture. Veća koncentracija cinka u mesingu znači veću čvrstoću, a manju električnu i toplinsku provodljivost i otpornost na koroziju.

Za materijal vanjske dekorativne obloge izabran je meko tvrdi mesing oznake CuZn37 (MS63) koji je homogeni (najrastezljiviji) mesing maksimalnog sadržaja cinka. Odnosno, za veći sadržaj cinka dobiva se heterogeni mesing znatno lošije rastezljivosti. Svojstva mesinga oznake CuZn37 prikazana su na *slikama 7.23 i 7.24*, a izuzetno je pogodan za hladnu obradu, pogodan za zavarivanje i otporan na koroziju izazvanu slatkom vodom. Mehanička svojstva i potvrda proizvođača odabranog materijala prikazani su na slikama u nastavku.



*Slika 7.22 -Mesing [8]*


Na *slici 7.22* je preikazan mesing u raznim oblicima.



**C27200****CuZn37****Industrial Rolled**

Alloy Designation	
EN	CuZn37 (2.0321)
DIN CEN/TS 13388	CW508L
JIS	C 2720
BS	CZ 107
UNS	C27200

**Brass Rolled Products**



KME offers a wide range of brass rolled products in the form of strips, sheets and discs in order to meet our customer's needs for industrial manufacturing or for the production of gift articles and decorative objects.

Chemical Composition Weight percentage		
Cu	62 .. 64	%
Zn	Rest	%
Ni	≤ 0.3	%
Sn	≤ 0.1	%
Fe	≤ 0.05	%

**Characteristics**

CuZn37 is the major brass alloy for the cold forming process. Even though brasses with lower Zinc content have better cold forming properties, CuZn37 is the most used alloy. Reasons for this are on the one hand economical due to lower price of Zinc compared to Copper, on the other hand the forming properties of this alloy meet the demand of many applications.

This alloy is in accordance with RoHS 2002/96/CE for electric & electronic equipments and 2002/53/CE for automotive industry

**Main Applications**

Fasteners Fasteners.  
Industrial Cold Headed Parts, Heat Exchanger Shells, Pump Cylinder Liners  
Casting Characteristics.  
Typical Application: Metal goods, Deep drawn parts, Components for the electrical industry, Stamped parts, Connectors.

Preferred Applications				
Jewellery and Metall Goods	Deep Drawn Parts	Components for the Electrical Industry	Stamped Parts	Connectors
xx	xx	xx	xx	x

x = well suited    xx = particularly well suited

Physical Properties Typical values in annealed temper at 20 °C		
Density		8.44 g/cm <sup>3</sup>
Thermal expansion coefficient	- 73 °C 20 .. 300 °C	17.0 10 <sup>-6</sup> /K 20.2 10 <sup>-6</sup> /K
Specific heat capacity		0.377 J/(g·K)
Thermal conductivity		121 W/(m·K)
Electrical conductivity (1 MS/m = 1 m/(Ω mm <sup>2</sup> ))		≥ 14 MS/m
Electrical conductivity (IACS)		24 %
Thermal coefficient of electrical resistance (0 .. 100 °C)		1.7 10 <sup>-3</sup> /K
Modulus of elasticity ( 1 GPa = 1 kN/mm <sup>2</sup> ) cold formed		99 .. 115 GPa
	annealed	110 GPa

©KME Germany GmbH & Co. KG - www.kme.com - info-germany@kme.com

Page 1

Slika 7.23 - Mehanička svojstva mesinga oznake CuZn37 [9]

**C27200**  
CuZn37

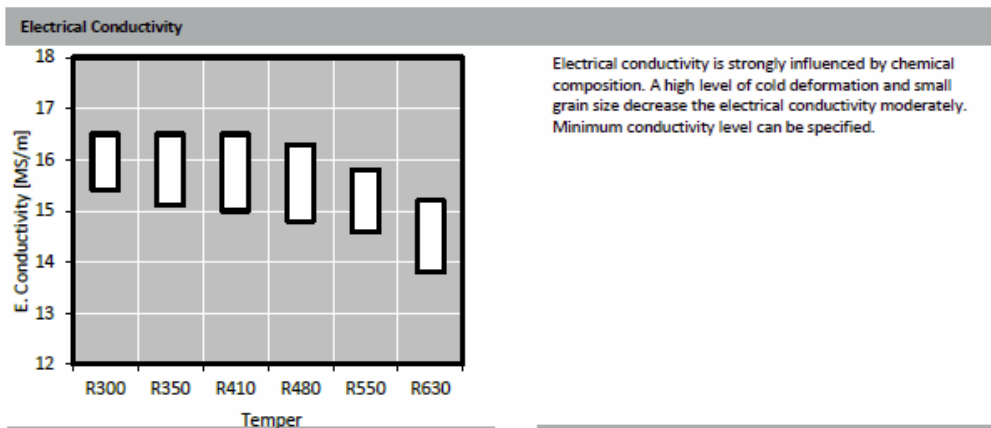


**KME**

Industrial Rolled

Mechanical Properties (EN 1652)		Tensile Strength	Yield Strength	Elongation Minimum	Grain Size	Hardness
Temper		R <sub>m</sub>	R <sub>p0.2</sub> *	A <sub>50mm</sub>	µm	HV *
		MPa	MPa	%		HV
R300	G010 Annealed G020 Annealed G030 Annealed G050 Annealed	300 .. 370	≤ 180	38	< 15 15 .. 30 20 .. 40 35 .. 70	≤120 ≤ 95 ≤ 90 ≤ 80
R350		350 .. 440	170	19		95 .. 125
R410		410 .. 490	300	8		120 .. 155
R480		480 .. 560	430	3		150 .. 180
R550		550 .. 640	500	-		> 170
R630		≥ 630	600	-		> 190

\* only for information



Electrical conductivity is strongly influenced by chemical composition. A high level of cold deformation and small grain size decrease the electrical conductivity moderately. Minimum conductivity level can be specified.

Fabrication Properties*	
Cold Forming Properties Max. 90% between annealings	Excellent
Hot Forming Properties at 750 .. 850°C	Good
Machinability (Rating 30)	Fair
Electroplating Properties	Excellent
Hot Tinning Properties	Excellent
Soft Soldering, Brazing	Excellent
Resistance Welding	Good
Gas Shielded Arc Welding	Fair
Laser Welding	Less Suitable
Soft Annealing	450 .. 680°C
Stress Relieving Annealing	200 .. 300°C

Corrosion Resistance*
Resistant to: CuZn37 has a good resistance to water, water vapour, different saline solutions, many organic liquids . Land, sea and industrial atmosphere.
Not resistant to: Under certain conditions (water with high chlorine-content and low carbonate-hardness) a form of corrosion called "dezincification" can occur. Furthermore this alloy tends in cold-formed temper under internal and/or external tensile stress when aggressive agents like ammoniac, amine ammonia-salts are present to "stress corrosion cracking". Tensile stress can be applied after fabrication during assembly or installation.
A heat treatment can help to avoid stress corrosion cracking. Semi-finished products can get a stress relieving annealing treatment or softening treatment.

\* For more details call our technical service

\* For more details call our technical service  
©KME Germany GmbH & Co. KG - www.kme.com - info-germany@kme.com

Page 2

Slika 7.24 - Mehanička svojstva mesinga oznake CuZn37[9]

Obloga u ukupnoj širini i visini 6000x14450 mm se sastoji od limova dimenzija 2x1500x3000 mm koja će biti postavljena sa malim razmacima da bi se osigurao prostor za dilataciju materijala.



Eredi Bianchi Giuseppe S.p.a. Socio Unico  
 22060 CUCCIAGO (Como) - via per Cantù, 29/A  
 Tel. +39.031.7073801 - Fax +39.031.712105  
 info@eredibianchi.com - www.eredibianchi.com - eredi.bianchi@pecmeb.it  
 Cod.Fisc. e P.IVA 01413990134 - C.C.I.A.A. Como (R.E.A.) N° 192896  
 Cap.Soc. € 1.200.000,00 i.v. - Registro delle Imprese di Como 01413990134  
**filiale:**  
 35100 PADOVA - via Paruta, 26  
 Tel. +39.049.757975 - FAX +39.049.751965  
 padova@eredibianchi.com

Destinazione:		Destinatario:		Ordine Cliente					
		VETMA D.O.O.							
		Dr. Martina Zizica, 25							
		00000 SOLIN ( CRO )							
Cod. cliente 0007720	Partita IVA o codice fiscale HR 73793123537	Valuta €	Sconti	Pagamento 1 RIMESSA DIRETTA	Sconto				
Vs. banca:			Trasporto a mezzo di		Pag. 1				
Ns. banca:									
Rif. des. cliente Ord. del 07/03/2019	Rif. n. cliente	Del: / /	Data documento 07/03/2019	Numero documento 4387					
Codice	Descrizione	Verghe	U.M.	Quantità	Prezzo	Sconti	Importo	C.I.	Data ev.
LOCR20X15	Lastra ott. mm 2x1500x3000 CuZn37 CW508L R350	28	KG	2.153,85	9,140		19.686,18	41	03/04/2019
-	Payment Bank Transfer 10% AT THE ORDER 90% AT ADVICE OF GOODS READY							41	
-	PESI MARCO							41	

LE DATE DI CONSEGNA SONO INDICATIVE E NON IMPEGNATIVE  
 L'ORDINE VERRA' EVASO ESCLUSIVAMENTE SE I PAGAMENTI SONO REGOLARI  
 IN CASO DI RITARDATO PAGAMENTO SARANNO APPLICATI GLI INTERESSI PREVISTI DAL D.LGS 231/2002  
 L'ORDINE SI INTENDE ACCETTATO IN TUTTE LE SUE PARTI IN ASSENZA DI VS. CONFERMA PERVENUTACI ENTRO 3 GIORNI LAVORATIVI.

Totale 19.686,19	Sconti/maggiorazioni	Spese di trasporto	I.V.A.	Totale documento €	19.686,19
	Spese di incasso	Spese di imballo			
Tipo pagamento Rimessa	Scadenza 07/03/2019	Importo scadenza 19.686,19	Spedizione per conto di		
Timbro e firma					

I dati forniti verranno utilizzati ai sensi dell'art. 13 del Regolamento UE 2016/679 GDPR, anche tramite soggetti esterni, al fine di permettere l'espletamento degli adempimenti informativi, amministrativi e contabili connessi al rapporto contrattuale.

Slika 7.25 - Potvrda narudžbe limova od mesinga za vanjsku dekorativnu oblogu

Slika 7.25 prikazuje potvrdu narudžbe limova od mesinga za vanjsku oblogu portala bazilike.

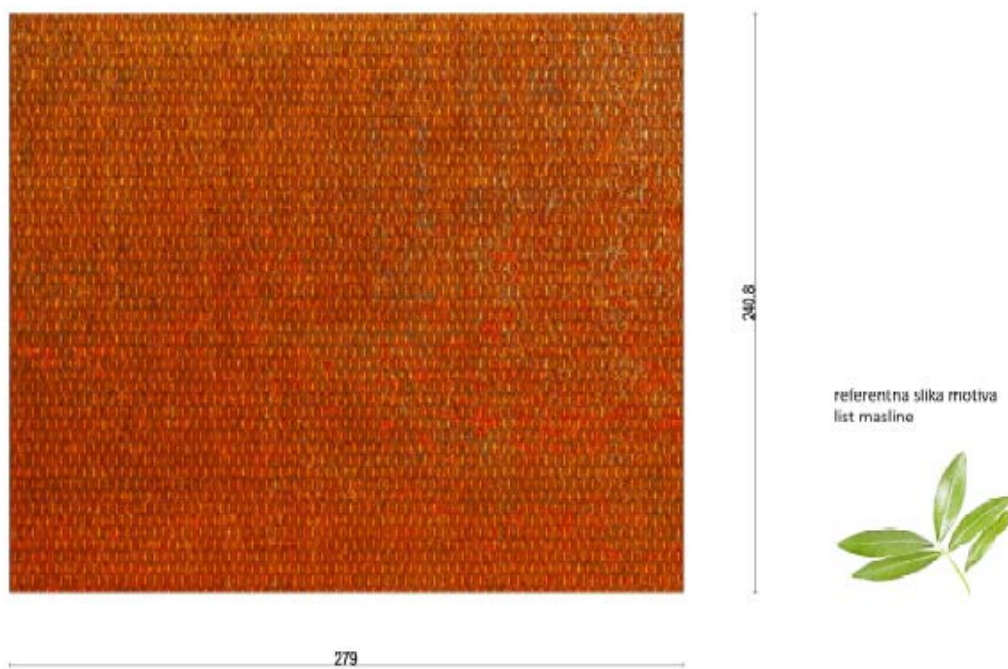
S obzirom da je sam objekt na kojem se nalazi konstrukcija sakralni, investitor je zahtijevao da dekorativna obloga bude ukrašena nekim sakralnim motivom. Za motiv je izabrana maslina, simbol mira te je odlučeno da obloga bude ukrašena oblicima maslinovog lista. U nastavku su prikazane dvije varijante izrade maslinovog lista na oblozi.

Prva varijanta je zamišljena kao mnoštvo maslinovih listova urezanih na oblogu. Rezanje bi se napravilo plazma rezanjem pod vodom na dubinu od 0,3 mm. Sve je prikazano na slikama u nastavku.

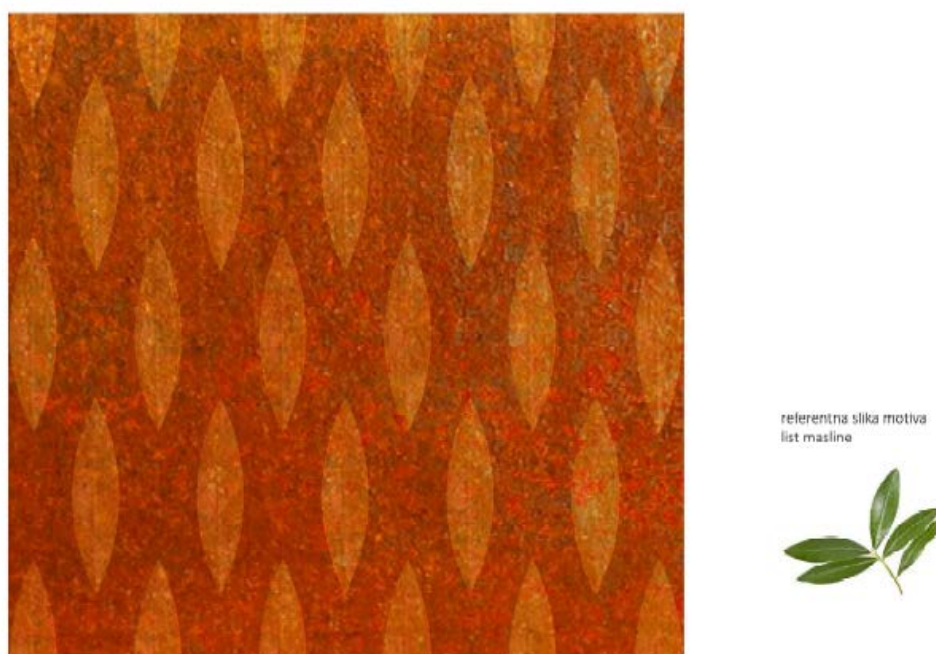


*Slika 7.26 - Vizualizacija obložene konstrukcije ukrašene sa sakralnim motivom [2]*

Na slici 7.26 je prikazana vizualizacija obložene konstrukcije sa prvom varijantom ukrašavanja. Na slikama 7.27 i 7.28 su uvećani prikazi za spomenutu varijantu.



*Slika 7.27 - Uvećani prikaz motiva urezanog u oblogu*



*Slika 7.28 - Uvećani prikaz motiva urezanog u oblogu*



Druga varijanta, koja je na kasnije i usvojena uključuje izrezivanje oblika iz lima u cijeloj dubini te izvlačenje oblika lista masline tako da se dobije reljefni izgled nabacanih listova masline.



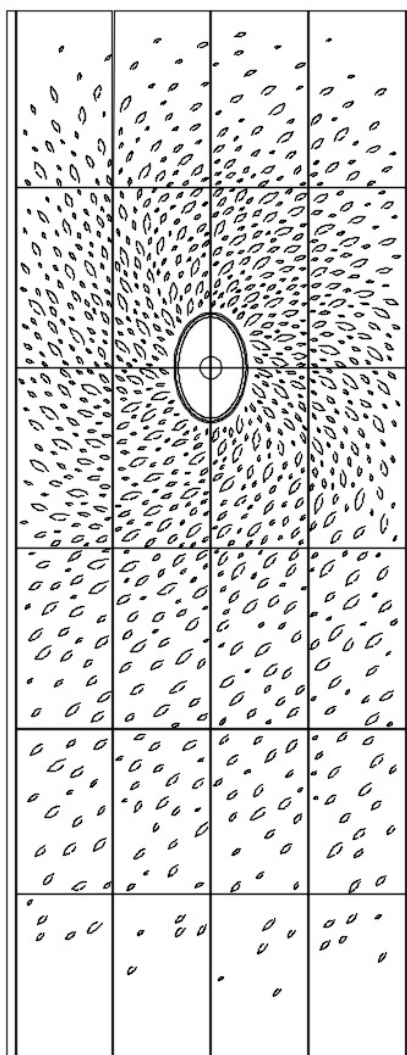
*Slika 7.29 - Vizualizacija obložene konstrukcije sa izrezanim motivom [2]*

Na slici 7.29 je prikazana vizualizacija druge varijante ukrašavanja vanjske obloge za konstrukciju.

### **7.3.3.1 Tehnološki postupak obrade i ugradnje obloga konstrukcije portala**

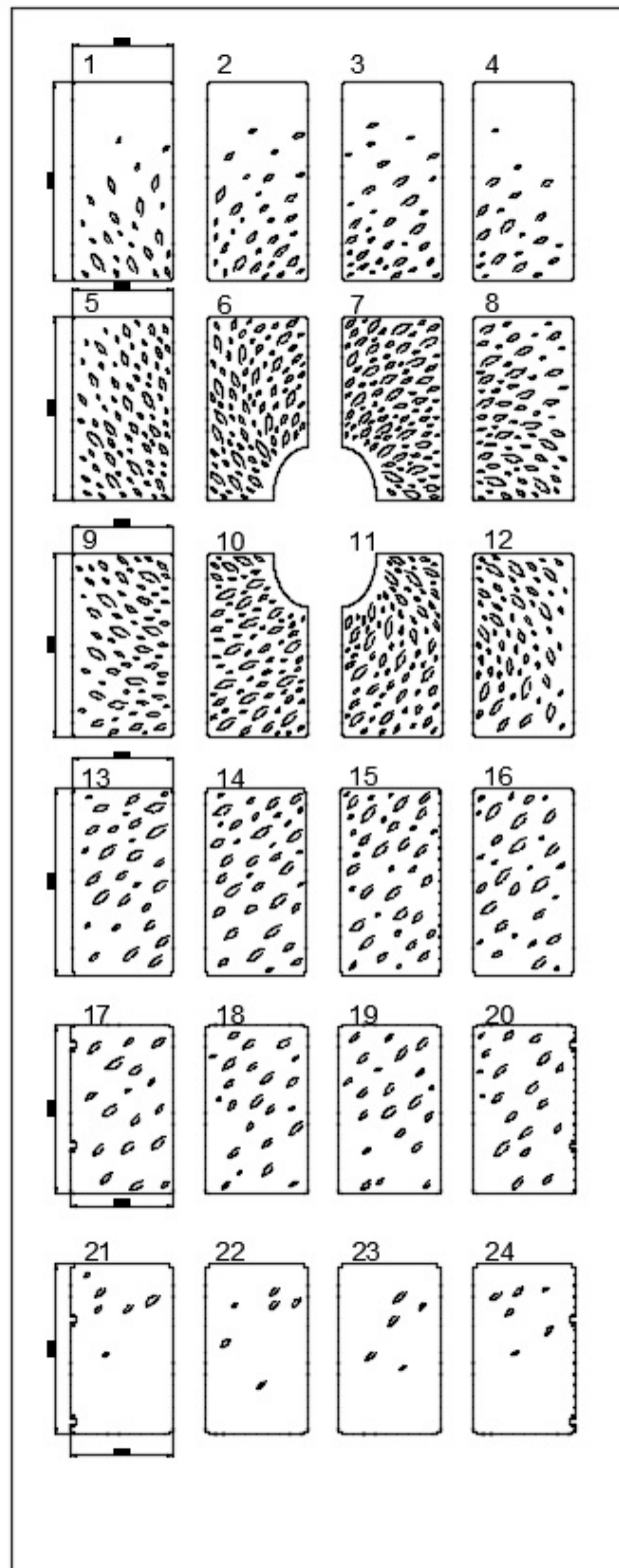
Obloga konstrukcije se sastoji od 3 dijela pa se stoga i izvedba obloge vrši u 3 koraka. Prva se obrađuje termo izolacijska obloga. Termo izolacijski paneli koji dolaze u standardnim

dimenzijama širine 1000 mm, režu se na potrebne dimenzije te se montiraju na konstrukciju. Zatim slijedi montaža vanjske dekorativne obloge iz mesinga (*slika 7.36*). Limovi obloge iz mesinga dolaze u dimenzijama 2x1500x3000 mm, te se pomoću plazma rezanja pod vodom režu na segmente potrebnih dimenzija kao što je vidljivo na *slici 7.32*. Cijela vanjska dekorativna obloga iz mesinga se sastoji od ukupno 24 pozicije, tj. 24 segmenta. Na svakom segmentu obloge od mesinga su izrezani oblici lista masline koji su planski raspoređeni po segmentima kako bi se dobila konačna slika vanjskog izgleda portala (*slika 7.31*). Također prije same montaže potrebno je izbrusiti tanki sloj lima mesinga kako bi se postigla željena nijansa tj. efekt boje (*slika 7.33*). Obloga iz mesinga se pričvršćuje na konstrukciju pomoću posebno izrađenih profila. Posljednja se montira unutrašnja dekorativna obloga od hrasta čija je vizualizacija prikazana na *slici 7.20*.



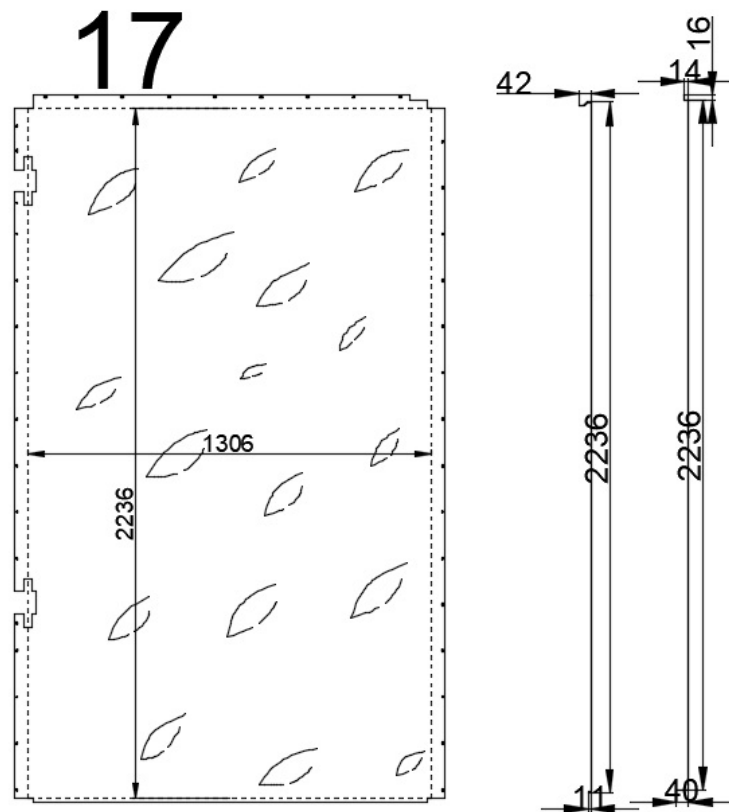
*Slika 7.30 - Izgled vanjske dekorativne obloge podijeljene po segmentima [2]*

## za salona var



Slika 7.31 - Pozicije segmenata vanjske dekorativne obloge [2]

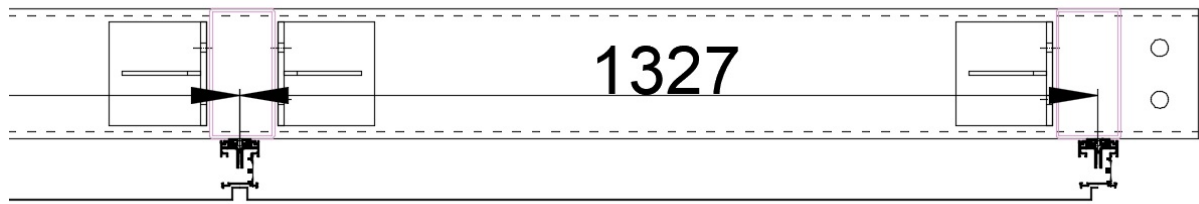




Slika 7.32 - Dimenzije i upute za savijanje i rezanje za poziciju 17 vanjske dekorativne obloge [2]

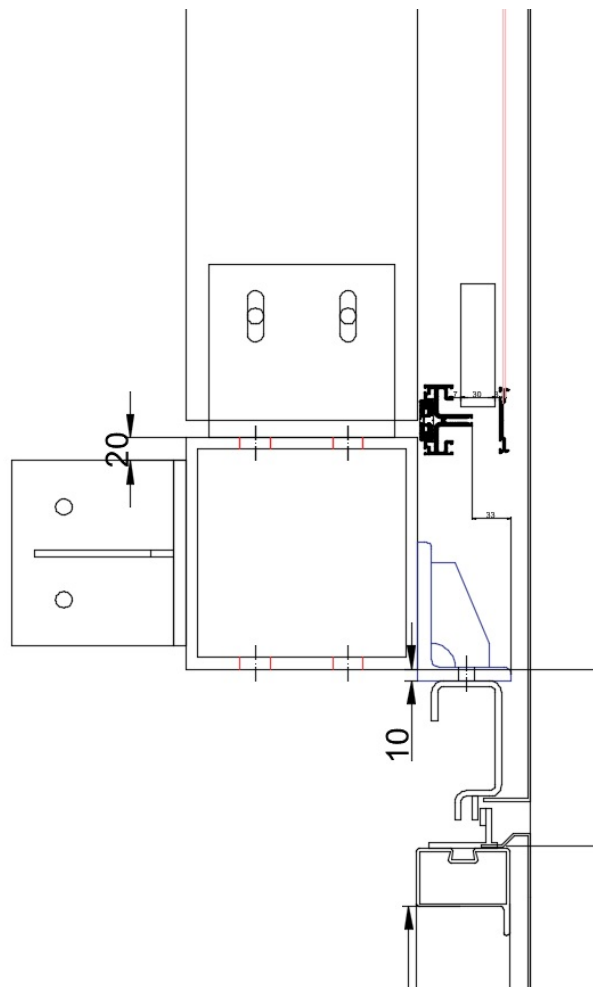


Slika 7.33 - Obrada segmenta vanjske dekorativne obloge sa izrezanim motivom maslinovog lista

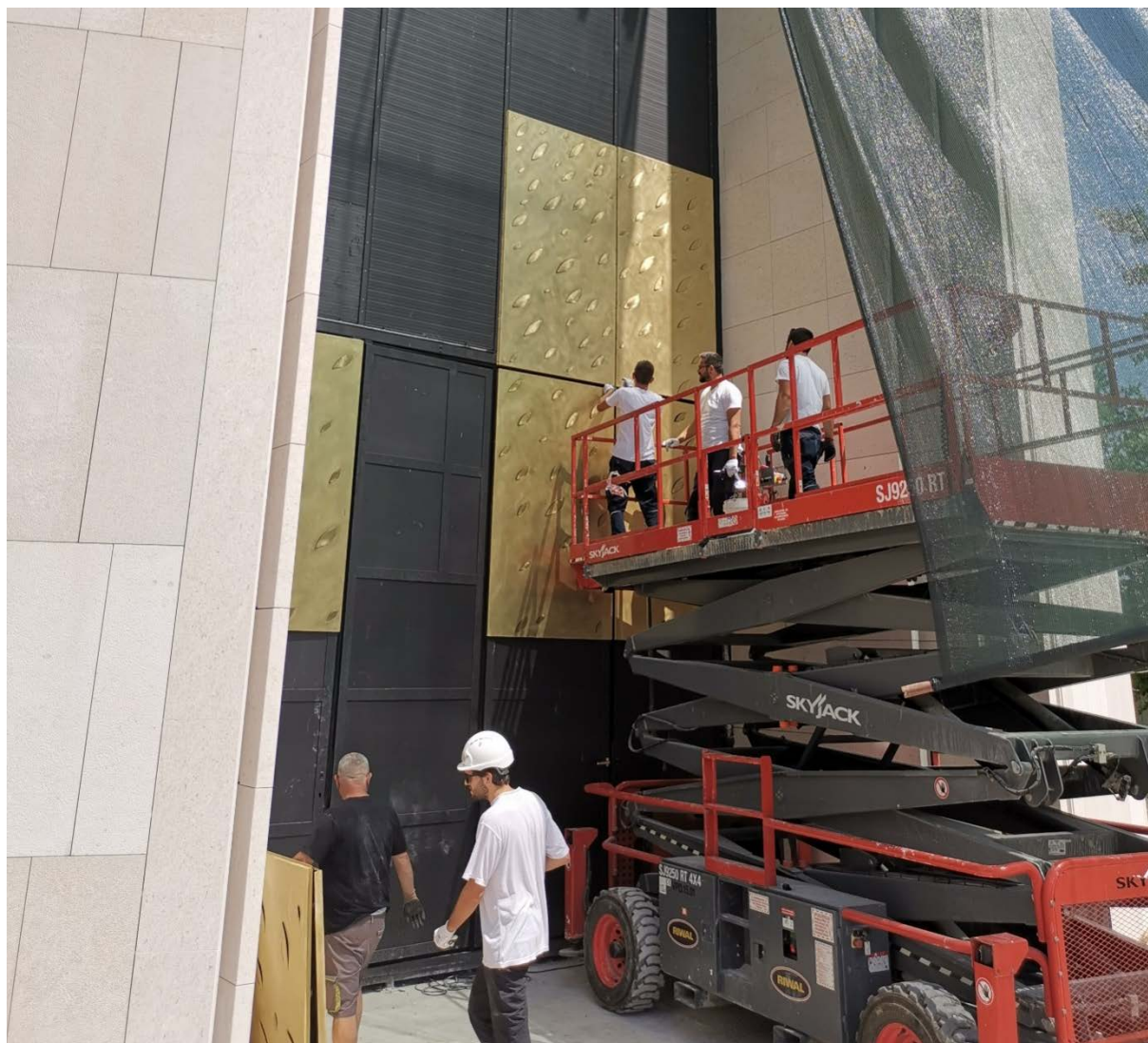


Slika 7.34 - Detalj presjeka tlocrta tehnologije montaže vanjske dekorativne obloge od mesinga [2]

Na slikama 7.30 i 7.31 su prikazani detalji tehnologije montaže vanjske dekorativne obloge od mesinga.



Slika 7.35 - Detalj presjeka bočnog pogleda tehnologije montaže vanjske dekorativne obloge od mesinga [2]

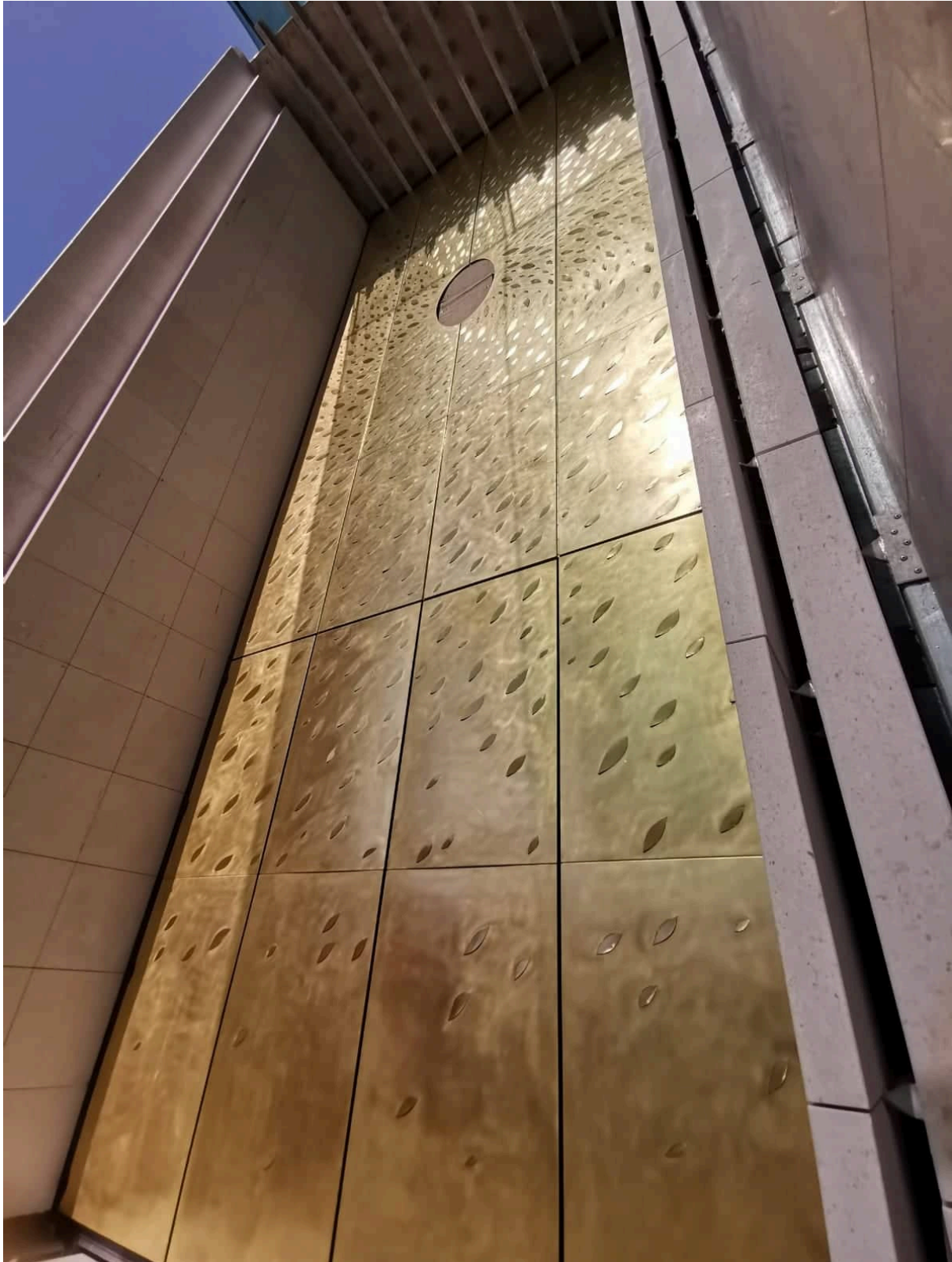


*Slika 7.36 - Montaža vanjske dekorativne obloge iz mesinga*





*Slika 7.37 - Gotova konstrukcija obložena dekorativnom oblogom*



*Slika 7.38 - Gotova konstrukcija obložena dekorativnom oblogom*

Na slikama 7.37 i 7.38 je prikazana završena konstrukcija portala bazilike sa ukrašenom vanjskom dekorativnom oblogom.

## 8. Zaključak

Cilj ovog rada bio je prikazati realnost metodičkog konstruiranja projekta metalne konstrukcije portala bazilike.

Za početak, determinirana su opterećenja koja djeluju na portal, odabrana je varijanta konstrukcije, preliminarno su usvojeni profili konstrukcije, te je izvršen izbor materijala.

Daljnijim proračunom svi kritični dijelovi konstrukcije opterećene utjecajem vjetra tj. njegovim vršnim tlakom u iznosu od  $1,53 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  i utjecajem težine su provjereni prema kriteriju čvrstoće i krutosti čime je dokazana stabilnost i nosivost konstrukcije, te se ona smatra sigurnom za eksploataciju.

Proračunom je dokazan ispravan izbor materijala, te je potvrđena preliminarno usvojena geometrija profila konstrukcije.

Pri proračunima je dodatno povećan koeficijent sigurnosti, što je potrebno jer će kroz ulazni portal bazilike cirkulirati velik broj ljudi, pri čemu je dopušteni progib glavnih horizontalnih nosača smanjen s 20 mm na 10 mm. Taj kriterij su zadovoljili svi nosači, pri obje vrste opterećenja s tim da je za glavni nosač 1 zadovoljavajući progib osiguran pomoćnom konstrukcijom što je u radu prikazano prvo vizualizacijom, a kasnije i realnom slikom izrađene konstrukcije. Također, utvrđeno je i povećanje nosivosti i stabilnosti glavnog nosača 1 s obzirom na stalno opterećenje za 6,5% postavljanjem ukrute L profila dimenzija 80x120x12. Sve navedeno je povećalo troškove konstrukcije ali faktor sigurnosti je ipak prevladao naspram faktora ekonomičnosti. Primjetno je da povećanje nosivosti pomoću L profila u ovom slučaju nije bilo od presudne važnosti jer je konstrukcija već prije zadovoljavala uvjete čvrstoće i krutosti, međutim u nekom drugom slučaju može predstavljati rješenje problema nosivosti konstrukcije bez dodatnih velikih troškova.

Tehnologija izvedbe obuhvatila je izradu, oblikovanje i montažu svih važnih dijelova konstrukcije, a praćena je redovitim izlascima na teren. Obuhvaćeno je nastajanje konstrukcije od same sirovine materijala pa sve do završene nosive konstrukcije prekrivene oblogom prikladnog dizajna. Izbjegavanje izvijanja vertikalnih veznih nosača pomoću fiksnih i pokretnih oslonaca samo je jedno od mnoštva praktičnih rješenja korištenih na konstrukciji.

U radu je prikazana sva problematika jednog projekta koji je napravljen prema Europskim i nacionalnim normama.

Pri samoj izradi konstrukcije korišteni su najbolji materijali i tehnologija dostupni na tržištu te je kao rezultat dobivena sigurna i pouzdana konstrukcija.

## Literatura

- [1] Projektna dokumentacija glavnog projektanta arch. Viktor Vrečko
- [2] Projektna i izvedbena dokumentacija tvrtke Vetma d.o.o.
- [3] Steel number: [http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=5](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=5)
- [4] Horex: <http://www.horex.hr/docs/tablica.mehanickih.svojtava.za.limove.i.profile.pdf>
- [5] Izoforma paneli: <http://www.izoforma-paneli.hr/sendvic-paneli/zidni-izozid/>
- [6] Korak: <https://korak.com.hr/korak-021-ozujak-2008-gustoca-drva/>
- [7] Javor trgovina: <https://www.javor-trgovina.hr/artikli-detalji/ostali-plocasti-materijali-furnirana-panel-ploca/furnirana-panel-ploca-hrast/31>
- [8] Strojopromet: <http://www.strojopromet.com/mesing/>
- [9] KME:  
[https://www.kme.com/fileadmin/DOWNLOADCENTER/COPPER%20DIVISON/4%20Industrial%20Rolled/4\\_Alloys/CuZn37.pdf](https://www.kme.com/fileadmin/DOWNLOADCENTER/COPPER%20DIVISON/4%20Industrial%20Rolled/4_Alloys/CuZn37.pdf)
- [10] A. Matoković, B. Plazibat, V. Vetma - *Nauka o čvrstoći*, Sveučilišni odjel za stručne studije Split, 2019.
- [11] V. Vetma, A. Matoković - *Zelene metalne konstrukcije*, Sveučilišni odjel za stručne studije Split.
- [12] I. Džeba, B. Androić, D. Dujmović - *Metalne konstrukcije 1*, Zagreb 1994.